


[illegible]

Doutor Fernando Manuel Pereira de Noronha, Professor Catedrático Jubilado,  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

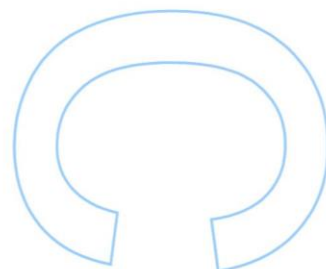
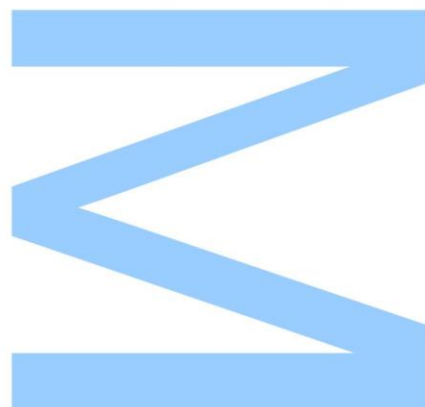




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_





*“Paz nas montanhas, meu alívio certo.”*

*Miguel Torga, Diário VII*



## Agradecimentos

*Não foi o esforço e dedicação de uma só pessoa que permitiu a realização deste trabalho. Pelo contrário, várias pessoas contribuíram para o culminar de mais uma etapa. Resta-me apenas prestar o meu mais sincero agradecimento a todos os que me acompanharam em mais uma caminhada.*

*Ao meu orientador, Professor Doutor Alexandre Lima, agradeço toda a disponibilidade, dedicação e entusiasmo demonstrado ao longo deste trabalho. Agradeço os seus ensinamentos, a partilha da sua experiência que, com certeza, contribuíram para o meu crescimento enquanto geóloga e pessoa, sem esquecer, os momentos de boa disposição que sempre nos acompanharam.*

*Ao Professor Doutor Fernando Noronha, quero agradecer pela forma paciente e dedicada com que transmitiu os seus ensinamentos. Agradeço pela figura que é e pelo que significa para todos os geólogos desta casa. Será sempre uma inspiração para todos nós.*

*Não podia deixar de agradecer à Sara Leal, por nunca recusar um pedido de auxílio e estar sempre pronta para ajudar. Agradeço-te pela ajuda fundamental que foste e pela amiga em que te tornaste. Obrigada.*

*Agradeço à Adriana pelos seus conselhos e amizade, ao longo de todo o meu percurso. Esta aventura não teria sido igual se não fosse partilhada contigo.*

*Ao João agradeço sobretudo a amizade e paciência. Obrigada pela companhia pois, sem ti, esta caminhada teria sido bem mais solitária.*

*Agradeço a todos os meus colegas e amigos que sempre se fizeram notar nesta grande etapa.*

*Agradeço especialmente à minha família. Aos meus pais, por sempre acreditarem no meu valor. Obrigada por sempre me apoiarem nas minhas decisões, pela confiança e paciência em todos os momentos. À minha irmã, agradeço por sempre ter-me ajudado,*

*pela amizade e boa disposição que a caracterizam. Sem eles, nada disto teria sido possível. Muito obrigada.*

*Obrigada a ti, António, meu namorado. Agradeço-te por teres estado sempre ao meu lado, pelo apoio, dedicação e paciência nos momentos bons e menos bons. Agradeço por sempre me teres incentivado a ir mais longe sem nunca baixar os braços. Obrigada por sempre teres estado aqui.*



## Resumo

Esta dissertação realiza-se no âmbito do mestrado em Geologia e pretende descrever os procedimentos e resultados obtidos na análise espacial aplicada na prospeção de mineralizações de lítio. Para um conhecimento mais profundo deste tipo de mineralizações foram estudados três filões mineralizados em lítio: Alijó, Barroso e Adagoi.

A área de estudo localiza-se na Zona Galiza Trás-os-Montes, na proximidade do limite entre esta e a Zona Centro Ibérica. O Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão encontra-se encaixado em metassedimentos de idade ordovícica e silúrica, os quais apresentam marcas das três fases de deformação Varisca ( $D_1$  a  $D_3$ ).

Neste trabalho foi realizada uma análise espacial estatística, com o objetivo de verificar a possível relação espacial entre explorações de estanho e os filões de aplito-pegmatito. Tendo em conta que os filões eram desmontados para a obtenção do estanho, essa relação mostrou-se positiva, como esperado. Posteriormente, foi inferida a relação entre as referidas explorações de Sn e a orientação preferencial destes filões. Verificou-se que filões com orientações que variam de  $N0^\circ$  a  $N30^\circ$  e  $N150^\circ$  a  $N180^\circ$  estão associados espacialmente às explorações de estanho.

Para além disso, foram geradas bacias de drenagem, tendo por base os dados geoquímicos de sedimentos de corrente caracterizados por anomalias em lítio e/ou estanho, com o intuito da prospeção e seleção de novas potenciais áreas para a exploração de espodumena e petalite. Foram contabilizadas 318 bacias com teores superiores a 99 ppm de lítio (fundo regional). Selecionaram-se duas destas, para sua verificação em campo, sendo denominadas por Bacia 1 e Bacia 2. Na primeira bacia foram encontrados dois filões, um dos quais mineralizado em petalite e o outro, devido ao seu elevado estado de alteração, não foi possível identificar a fase mineral presente. Na Bacia 2, foi encontrado um filão bastante possante com espodumena.

De referir também a caracterização petrográfica e de campo de três filões já reconhecidos. O filão de Alijó apresenta cristais de espodumena com quartzo, no entanto a relação entre si não evidencia diretamente uma situação de SQL (Spodumene Quartz Intergrowth), pelo que a espodumena é considerada primária. Este filão apresenta baixos teores de estanho. O filão do Barroso, inicialmente pensado como de espodumena primária, é constituído por espodumena secundária. Aqui, os teores em estanho são elevados, tendo em conta os dados de sedimentos de corrente e os vestígios de exploração mineira para o estanho. Em Adagoi, foram encontrados três

modos de ocorrência da espodumena. O primeiro apresenta grandes cristais de espodumena sem a presença aparente de quartzo; o segundo consiste em grandes cristais de espodumena com quartzo no seu interior; e por último, são visíveis pequenas palhetas de espodumena com pequenos cristais de quartzo.

Deste trabalho, conclui-se a existência de três tipos de filões no Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão: 1) filões com petalite dominante, associados a bacias de drenagem com altos teores de estanho; 2) filões com espodumena dominante, associados a bacias de drenagem com baixos teores de estanho; 3) filões de espodumena+quartzo (SQI), resultado da alteração da petalite, localizados em bacias com altos teores de estanho.

## Palavras-Chave

Pegmatitos, Espodumena, Lítio, Barroso-Alvão, Sistemas de Informação Geográfica, Prospeção

# Abstract

The primary purpose of this thesis, which was developed as a part of a master's degree in Geology, is to describe the procedures and the results obtained by the spatial analysis when applied to exploration for lithium mineralization. In order to provide a deeper acquaintance about these type of mineralization, three different veins were analysed: Alijó, Barroso and Adagoi.

The study area is situated on the Galicia Tras-os-Montes Zone, close to its boundary with the Central Iberian Zone. Barroso-Alvão Aplite-Pegmatite Field is emplaced into metasedimentary rocks of Ordovician to Silurian age, in which it is possible to observe signs of the three stages of Varisca deformation ( $D_1$  to  $D_3$ ).

For this study, it was made a spatial statistical analysis with the purpose of verifying the possible connection between old tin mines and pegmatite dykes. This connection was proved by the fact that the dykes were dismantled to remove the tin. Afterwards, it was inferred the connection between the old tin mines and the preferential orientation of this veins. This analysis led us to the conclusion that the veins which the orientation varied between  $N0^\circ$  to  $N30^\circ$  and  $N150^\circ$  to  $N180^\circ$  were associated to this old tin mines.

Furthermore, catchment basins were created with the aim of exploration, selecting new potential areas for spodumene and petalite exploitation. A total of 318 basins with lithium content above 99ppm were counted. Two of them (Basin 1 and 2) were selected to be the object of a field verification. In the first one, two dykes were found, one with petalite mineralization, and due to its advanced state of alteration, it was impossible to identify the mineral stage of the other. In the second basin, one vein was identified and it is mineralized in spodumene.

It is also important to report the petrographic and field description of the three dykes referred before: Alijo's aplite-pegmatite presents spodumene crystals with quartz, despite its relationship does not reveal SQI (Spodumene Quartz Intergrowth), which let us to conclude that may be primary spodumene. This vein presents low percentage of tin. Barroso's dyke, which was initially thought as a primary spodumene vein, came to be revealed as a secondary spodumene vein. In this case, the percentage of tin is high, considering its signs of exploration and its stream sediments data. At Adagoi, three different types of spodumene were found: the first one presents large spodumene

crystals apparently without quartz; the second one with large spodumene crystals with quartz and the last one with smaller spodumene needles with tiny quartz crystals.

From this study, we can conclude that there are three different kind of veins in the Barroso-Alvão Pegmatite field: 1) Predominant petalite-bearing veins in catchment basins with high content in tin; 2) Predominant spodumene-bearing veins in catchment basins with low content in tin; 3) Veins with spodumene + quartz (SQI) in catchment basin with high content in Sn.

## **Key-Words**

Pegmatite, Spodumene, Lithium, Barroso-Alvão, Geographic Information Systems, Exploration.

# Índice

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Capítulo I - Introdução	21
Estrutura da dissertação	23
Introdução	24
Objetivos	24
Capítulo II – Pegmatitos	27
Pegmatitos	29
Classificação	29
Zonamento a diferentes escalas	31
Zonamento Regional	31
Zonamento Interno	32
Mineralogia	32
Modelos Petrogenéticos	34
Modelos de Instalação	35
Distribuição do magmatismo pegmatítico na Cadeia Varisca	36
Capítulo III – Enquadramento Geográfico e Geomorfológico	39
Capítulo IV – Geologia	45
Introdução	47
Tectónica e Metamorfismo	48
Metassedimentos do Paleozóico	52
Depósitos de Cobertura	54
Granitóides Hercínicos	55
Filões aplito-pegmatíticos do Barroso-Alvão	58
Capítulo V – Análise Estatística e Espacial e Prospeção num SIG	61
V.1 – Introdução	63
V.2 – Aquisição de dados	65
V.3 – Metodologia	72

V.3.1 – Relação estatística espacial entre as explorações de estanho e a orientação dos filões aplito-pegmatíticos	72
V.3.2 – Geração de Bacias	83
Capítulo VI	93
VI.1 -Filão de Alijó	95
VI.2 – Filão do Barroso	101
VI.3 – Filão de Adagoi	104
Capítulo VII – Discussão dos Resultados	111
Capítulo VIII – Considerações Finais	117
Capítulo IX – Referências Bibliográficas	121

# Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema do zonamento regional tendo por base uma fonte granítica. Adaptado de (Trueman and Černý, 1982).....	31
Figura 2 – Estrutura interna de um pegmatito zonado numa secção horizontal. (Cerny, 1991a) .....	32
Figura 3- Modelo esquemático da geração de espaços (fraturas) numa zona de cisalhamento que podem corresponder a locais preferenciais para a instalação de magmas (Demartis et al., 2011). .....	36
Figura 4 – Maciços variscos na Europa evidenciando as principais suturas. Principais províncias variscas mineralizadas a amarelo; províncias variscas reativadas pela Orogenia Alpina a azul (Dill, 2015). .....	37
Figura 5 – Cobertura do Campo Aplito-Pegmatítico Barroso-Alvão pelas cartas militares à escala 1:25 000. ( <a href="http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.html">http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.html</a> )	41
Figura 6 – Delimitação do Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão, com a projeção dos corpos filonianos. ....	42
Figura 7 – Excerto da carta geológica de Vila Pouca de Aguiã. Antigas explorações mineiras de estanho (Sn) associadas a filões de aplito-pegmatito. (Noronha et al., 1998) .....	42
Figura 8 – Mapa de ocorrência minerais na área de estudo. No mapa à esquerda, os pontos a azul representam as explorações de Li mais importantes no Barroso-Alvão. (adaptado de <a href="http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.htm">http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.htm</a> ) .....	43
Figura 9 – Zonas morfoestruturais da Península Ibérica. (Julivert et al., 1979) Carta 1:1 000 000 de Portugal e Espanha, 2015. ....	47
Figura 10 – Tempo e modo de atuação das diferentes fases da orogenia Varisca no setor norte e sul da Península Ibérica. (Dias e Ribeiro, 1995).....	49
Figura 11 – Filão aplito-pegmatítico instalado paralelamente ao eixo de uma dobra de terceira fase. (Fotografia cedida pelo Professor Fernando Noronha). ....	50
Figura 12 – Filão deformado orientado para N160° (Filão CHN3). (Fotografia cedida pelo Doutor Christian Schmidt).....	50

Figura 13 - Crista andaluzítica no campo aplito-pegmatítico Barroso-Alvão com evidências de deformação. ....	51
Figura 14 – Projeção dos filões de aplito-pegmatito do Barroso-Alvão em base topográfica.....	60
Figura 15 – Modelos de distribuição de pontos. 1- Aleatório; 2- Agrupado; 3- Regular. (extraído e adaptado de (Carranza, 2009b)). ....	64
Figura 16 – Localização das explorações de estanho em aplito-pegmatitos, retirada da carta geológica 6C e 6D, à escala 1:50 000. Mapa de base: Mapa Geológico de Portugal, 1:5000 000.....	67
Figura 17 – Distribuição dos filões de aplito-pegmatito do Barroso- Alvão. Geologia de base à escala 1:500 000.....	68
Figura 18 – Distribuição espacial dos locais de amostragem dos sedimentos de corrente, entre o Barroso e o Alvão, sobre o mapa geológico 1:500 000. ....	69
Figura 19 – Modelo digital de escoamento (fornecido pela APA - <a href="http://sniamb.apambiente.pt/">http://sniamb.apambiente.pt/</a> ).....	70
Figura 20 – Modelo de acumulação evidenciando as linhas de água.....	70
Figura 21 – Linhas de água em formato raster na área de estudo. ....	71
Figura 22 – Delimitação da área usada na análise estatística espacial entre os filões de aplito-pegmatito e as antigas explorações de estanho.....	73
Figura 23 –Análise da distribuição espacial do aplito-pegmatitos do Barroso-Alvão, evidenciando distribuição em clusters.....	74
Figura 24 – Análise da distribuição dos pontos de referência. Distribuição do tipo random. ....	74
Figura 25 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e todos os filões e a distribuição de referência e todos os filões. ....	76
Figura 26 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N0º a N30º. ....	77



Figura 27 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N31° a N60°.....	78
Figura 28 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N61° a N90° .....	79
Figura 29 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N91° a N120°.....	80
Figura 30 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N121° a N150°.....	81
Figura 31 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N151° a N180°.....	82
Figura 32 – Sedimentos de corrente sobrepostos às linhas de água (formato raster).	83
Figura 33 – Criação de bacias com o tamanho de 1 pixel, resultante da transformação raster para vetorial em a e sua resolução em b, evidenciando que o pixel rosa adquire a cor da bacia a que pertencia.....	84
Figura 34 – bacias de drenagem geradas na área de estudo, com os sedimentos de corrente sobrepostos às linhas de água.....	85
Figura 35 - Bacias de drenagem com teores de lítio (à esquerda) e estanho (à direita). .....	86
Figura 36 – Bacias com anomalias em Li e os filões de aplito-pegmatito. Evidência de um filão de espodumena na concessão de Adagoi. ....	87
Figura 37 –Exemplo de uma bacia rica em estanho (1250 ppm) e lítio (600ppm) com pelo menos um filão de petalite. ....	88
Figura 38 – Bacias selecionadas para a validação de campo. ....	88
Figura 39 – Afloramento do filão nº1 da Bacia 1, com evidência para os cristais de petalite (a). Petalite em nicóis paralelos (b) e cruzados (c) do mesmo filão. ....	89
Figura 40 – Antiga exploração de estanho, Ribeira de Pena.....	90
Figura 41 – Cristais de espodumena no filão da Bacia 2. ....	91

Figura 42 – Localização dos filões Barroso, Alijó e Adagoi. ....	95
Figura 43 – Vista aérea do filão de Alijó, evidenciando a sua exploração (Google Earth). .....	96
Figura 44 – Exemplo de feldspatos distribuídos na matriz aplítica do filão aplito-pegmatítico de Alijó, Ribeira de Pena. ....	97
Figura 45 – Bloco de aplito-pegmatito resultante da exploração mineira evidenciando cristais de espodumena na matriz pegmatítica. Filão de Alijó, Ribeira de Pena. ....	98
Figura 46 – Contacto entre os metassedimentos e o filão de aplito-pegmatito. Filão de Alijó, Ribeira de Pena .....	99
Figura 47 – Petrografia do filão de Alijó. Pormenor do crescimento aleatório da espodumena, sem evidenciar nenhum padrão de crescimento. As imagens a e c encontram-se em nicóis cruzados e as respetivas b e d em nicóis paralelos. ....	100
Figura 48 – Vista aérea da exploração do filão do Barroso (Google Earth). ....	101
Figura 49 – Passagem de petalite para espodumena + quartzo. Amostra MB1. ....	102
Figura 50 – Passagem de (pet) a espodumena (spd) + quartzo em nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita). ....	103
Figura 51 – Vista aérea do filão de Adagoi (Google Earth). ....	104
Figura 52 – Cristal de espodumena com aproximadamente 20 cm. Filão de Adagoi	105
Figura 53 – Ocorrência de espodumena e quartzo no filão de Adagoi. ....	105
Figura 54 – Pequenos cristais de espodumena e quartzo, filão de Adagoi. ....	106
Figura 55 – Cristal de petalite no filão de Adagoi. ....	106
Figura 56 -Crescimento cruzado de cristais de espodumena. Filão de Adagoi. ....	108
Figura 57 – Petalite a envolver um cristal de espodumena, evidenciando alguma alteração (ampliação 5x). ....	108
Figura 58 – Turmalina no contacto entre o pegmatito e o metassedimento encaixante. .....	109

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Classificação geológica, paragenética e geoquímica de pegmatitos graníticos (Extraído de Černý & Ercit, 2005). .....	30
Tabela 2 – Layers usadas, fonte e modo de inserção e tipos de dado gerados no programa ArcGIS 10.3. ....	71
Tabela 3 – Teores correspondentes aos percentis 50% (Fundo regional), 75%, 84% (Limiar da anomalia), 90%, 95%, 97,5% (Anomalia). Percentis usados de acordo com Pires (1995). ....	86



# Capítulo I

## Introdução



## Estrutura da dissertação

Esta dissertação realizou-se no âmbito do Mestrado em Geologia e pretende descrever os procedimentos e resultados obtidos na análise espacial aplicada na prospeção de filões mineralizados em lítio. De forma mais pormenorizada, foram estudados três filões previamente selecionados: Alijó, Barroso e Adagoi.

Este documento encontra-se dividido em 9 capítulos.

No primeiro capítulo, *Introdução*, é feita a primeira abordagem ao local, bem como os trabalhos aí desenvolvidos e os objetivos desta dissertação.

O capítulo II, *Pegmatitos*, aborda o conceito geral da rocha pegmatítica, a classificação que os agrupa, o zonamento regional e interno dos filões, os minerais de lítio associados, os modelos petrogenéticos e de instalação e, ainda, a sua distribuição na Europa.

O terceiro capítulo, *Enquadramento Geográfico e Geomorfológico*, que, como o próprio nome indica, refere a localização da área de estudo e as suas características geomorfológicas.

O capítulo IV, *Geologia*, apresenta o enquadramento geológico da área de estudo, abordando a tectónica e as litologias presentes.

Os capítulos V e VI correspondem às atividades desenvolvidas neste trabalho. O capítulo *Prospeção e Análise Estatística Espacial em SIG* (capítulo 5) refere o método utilizado e os resultados obtidos, para a localização de novas áreas mineralizadas e verificação da relação espacial entre explorações abandonadas de estanho (Sn) e filões, tendo em conta as suas orientações. Já o capítulo 6, denominado por *Caraterização dos Aplito-Pegmatitos com Espodumena*, apresenta o trabalho de campo efetuado e análise petrográfica dos filões estudados.

Os capítulos VII e VIII são relativos à *Discussão dos Resultados* e às *Considerações Finais*, respetivamente.

Por último, o capítulo IX apresenta as *Referências Bibliográficas* referenciadas neste trabalho.

## Introdução

O campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão localiza-se no Noroeste da Península Ibérica, no setor Nordeste de Portugal, na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, entre as Serras do Barroso e do Alvão. A área de estudo é abrangida pelas folhas 45, 46, 59 e 60 da Carta Militar de Portugal à escala 1/25 000, do Instituto Geográfico do Exército e pelas folhas 6 A, B, C e D, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000.

A importância desta área surgiu aquando do levantamento geológico à escala 1/50 000 da folha 6C – Cabeceiras de Basto, efetuado, em 1987, pelo Professor Fernando Noronha e a sua equipa, no qual estruturas filonianas mineralizadas em espodumena foram reconhecidas. Devido ao seu interesse geoeconómico, foram executados vários projetos com o intuito de descobrir novas ocorrências mineralizadas, bem como conhecer de forma mais aprofundada a geologia tanto da região como dos filões em si.

Na área do campo aplito-pegmatítico e na sua envolvente foram elaboradas diversas teses de doutoramento e mestrado que incidiram tanto no estudo dos pegmatitos, como na rocha metassedimentar encaixante e nos granitos envolventes, tendo em vista estudos litológicos, geoquímicos, estruturais, magnéticos, relações espaciais, entre outros (por exemplo: Almeida, 1994; Martins, 1998; Ribeiro, 1999; Lima, 2000; Sant'Ovaia, 2000; Martins, 2009; Silva, 2014).

Para além dos trabalhos de cartografia à escala 1:50 000, bem como os anteriormente referidos, foi também desenvolvido um projeto de prospeção geológica e geoquímica na região, que visou a recolha de sedimentos de linhas de água, com o objetivo de localizar novas ocorrências mineralizadas, através da elaboração de bacias de drenagem a partir de cada ponto de recolha (Pires, 1995).

No decorrer dos anos, aliando, por vezes, o trabalho desenvolvido quer por empresas quer por docentes e alunos das instituições de ensino, foram efetuadas várias publicações científicas, de várias vertentes da geologia, relativas à área de estudo (por exemplo: Charoy et al., 1992, 2001; Lima et al., 1997; 2003a; 2003b; Martins et al., 2011, 2012).

## Objetivos

Os pegmatitos são uma importante fonte de metais raros como o Sn, Ta, Nb e Li, os quais têm sido muito usados em novas tecnologias verdes. Tendo em conta a sua



crecente importância a nível global, os minerais litiníferos, em especial a espodumena, são bastante procurados e, conseqüentemente, o seu estudo será também de elevado interesse. Esta dissertação incide essencialmente em duas vertentes: análise estatística espacial entre os aplito-pegmatitos e as antigas explorações de estanho; a prospeção de locais com ocorrências de mineralizações de lítio e sua caracterização, bem como a descrição de filões já reconhecidos no que respeita à sua mineralogia.

A primeira parte tem como objetivo verificar a possível existência de relação espacial entre as explorações de estanho e os filões mineralizados em lítio, mais precisamente, a relação espacial entre as explorações de estanho e a orientação dos filões de aplito-pegmatito. Para tal foi usado um Sistema de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente, o *ArcGIS*, versão 10.3.

Para além disso, o uso do SIG serviu também para prospeção de novos locais. Para tal, foram usados os dados obtidos do projeto de recolha sedimentos de corrente, realizado pelo Instituto Geológico e Mineiro, em 1995. Estes dados foram anteriormente trabalhados, resultando daí mapas de isolinhas para vários elementos, nomeadamente, lítio e estanho. No entanto, devido à impossibilidade de obtenção de resultados de grande rigor, traduzindo-se na perda de vários filões mineralizados, surgiu a necessidade de o fazer em formato vetorial computadorizado, de forma a obter um mapa mais fidedigno e que não excluísse nenhuma área mineralizada.

Com a localização de novas áreas de interesse através do referido *software*, um dos objetivos prendeu-se com o reconhecimento mineralógico das mesmas, ou seja, realizar trabalho de campo para verificar qual o mineral responsável pela anomalia, localizar o filão na bacia de drenagem e caracterizá-lo quanto à fase mineral presente (petalite ou espodumena).

Por outro lado, este trabalho teve também o propósito de analisar filões de espodumena já reconhecidos, nomeadamente, os filões de Alijó, Barroso e Adagoi, que tinham sido anteriormente identificados como portadores de mineralização de lítio. A análise consistiu, essencialmente, no estudo de campo e estudo petrográfico destes.



## **Capítulo II**

### **Pegmatitos**



## Pegmatitos

A rocha pegmatítica foi inicialmente caracterizada por Brongniart (1813), sendo definida como um íntimo intercrescimento entre quartzo e microclina pertítica, o qual foi denominado de granito gráfico. Só mais tarde, estas rochas passaram a ser chamadas de pegmatitos. Na generalidade, pegmatito define-se como uma rocha magmática intrusiva, de composição granítica, que se distingue de outras rochas ígneas pelo tamanho do grão e também pela existência de cristais com textura gráfica ou outros hábitos de crescimento fortemente direcionados. Esta rocha de carácter félsico pode apresentar na sua constituição elementos como o lítio, rubídio, cézio, nióbio, tântalo, estanho, elementos raros, boro, fósforo, entre outros (London, 2008; Dill, 2015).

Tanto estes corpos geológicos, como os sedimentos resultantes da sua desagregação, são reconhecidos não só pelo seu potencial económico, devido à sua associação a metais raros (por exemplo: lítio, tântalo e terras raras), mas também devido à ocorrência de gemas, que desperta o interesse dos colecionadores de minerais (Galopim de Carvalho, 2011).

## Classificação

Desde muito cedo que vários autores se dedicaram à classificação de pegmatitos, como foi o caso de Landes (1933). No entanto, os trabalhos de pesquisa continuaram até que Ginsburg *et al.* (1979) propuseram uma classificação tendo por base critérios petrogenéticos, definindo que os pegmatitos estariam relacionados com uma fonte granítica. Nesse sentido, foi proposta uma divisão em 5 grupos: abissal, moscovítico, moscovítico- elementos raros, elementos raros e mirolíticos. Mais tarde, (Černý, 1991b) sugeriu uma classificação, baseada nesta última, que foi amplamente aceite pela comunidade científica, sendo usada em diversos trabalhos (Simmons, 2007).

Todavia, investigações mais recentes mostraram que alguns pegmatitos não são facilmente englobados nesta classificação, uma vez que as suas características geoquímicas não permitem incluí-los num grupo em que estejam cumpridos todos os seus requisitos (exemplos: Pezzotta, 2001; Simmons *et al.* 2003 *in* Simmons, 2007), uma vez que, por exemplo, a classificação não prevê a possibilidade de formação de pegmatitos por processos de anatexia. Então, surgiu a necessidade de uma

classificação mais adequada ao estado dos conhecimentos da época.

Para tal, Černý e Ercit (2005) apresentam uma nova classificação petrogenética, com algumas melhorias relativamente à anterior, nomeadamente, nas classes: Elementos Raros, Abissal e Moscovite

Esta classificação é constituída por 5 classes: Abissal, Moscovite, Moscovite-Elementos Raros, Elementos Raros e Miarolítica (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação geológica, paragenética e geoquímica de pegmatitos graníticos (Extraído de Černý e Ercit, 2005).

Classe	Subclasse	Tipo	Subtipo
<b>Abissal (AB)</b>	AB-HREE AB-LREE AB-U AB-BBe	-	-
<b>Moscovite (MS)</b>	-	-	-
<b>Moscovite- Elementos Raros (MSREL)</b>	MSREL-REE MSREL-Li	-	-
<b>Elementos Raros (REL)</b>	REL-REE  REL-Li	Allanite-Monazite Exenite Gadolinite  Berilo  Complexo  Albite-Espodumena Albite	Berilo-Columbite Berilo-Columbite-Fosfato  Espodumena Petalite Lepidolite Elbaite Ambligonite
<b>Miarolítica (MI)</b>	MI-REE  MI-Li	Topázio-Berilo Gadolinite-Fergusonite Berilo-Topázio  MI-Espodumena MI-Petalite MI-Lepidolite	-

O campo aplito-pegmatítico em estudo apresenta três tipos de filões: estéreis, com mineralizações em Li-Sn-Nb-Ta e apenas mineralizados em lítio. Os filões mineralizados pertencem à classe dos pegmatitos com Elementos Raros e mais especificamente à família LCT (Li-Cs-Ta). Segundo a mesma classificação dizem-se do tipo complexo, do subtipo espodumena, petalite e subtipo lepidolite (Lima, 2000).

A inclusão dos aplito-pegmatitos nesta classe foi considerada tendo em conta

a suas características geoquímicas e a sua possível relação parental com o granito de Cabeceiras de Basto (Lima, 2000) ou com algum outro não aflorante (Martins, 2009).

## Zonamento a diferentes escalas

Os pegmatitos apresentam não só um zonamento interno, como também demonstram diferentes zonas a uma escala regional.

### Zonamento Regional

Alguns autores, como Černý (1991b), abordaram o conceito de zonamento regional no que respeita aos pegmatitos, particularmente os pegmatitos com elementos raros. Este autor refere que os corpos menos fracionados estão perto da fonte e os mais fracionados encontram-se mais afastados (figura 1). Este modelo de zonamento regional compreende 8 categorias de diferentes tipos e subtipos, com grau de fracionamento ascendente, da fonte para a periferia: i) estéril, ii) tipo elementos raros, iii) subtipo berilo-columbite, iv) subtipo berilo-columbite-fosfato v) subtipo espodumena ou petalite, ± amblygonite, vi) subtipo lepidolite, vii) tipo albite.

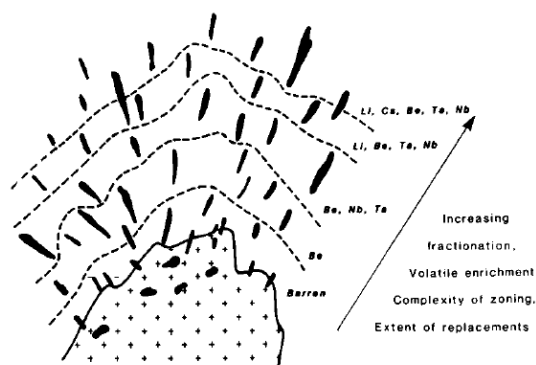


Figura 1 – Esquema do zonamento regional tendo por base uma fonte granítica. Adaptado de (Trueman e Černý, 1982)

Apesar de ser proposto por si, Černý (1991b) refere que a observação deste modelo na prática é bastante rara, possivelmente, devido à distribuição e atitude de estruturas pré-existent e ao nível de exposição à erosão. Para além disso, este modelo implica uma génese a partir de diferenciação de magmas graníticos parentais, descartando a hipótese de uma origem direta por anatexia de um protólito especializado, por exemplo: Demartis et al. (2011) e Roda Robles et al. (1999).

## Zonamento Interno

Černý (1991a) defende que os pegmatitos com elementos raros, muitas vezes associados a intrusões graníticas, apresentam uma estrutura interna bastante heterogénea e complexa. Este tipo de rocha pode apresentar três tipos de estrutura interna: i) homogénea; ii) zonada; iii) em camadas. Enquanto os pegmatitos do primeiro e terceiro grupo são pouco comuns, os pegmatitos zonados são os mais abundantes e diversificados. Os

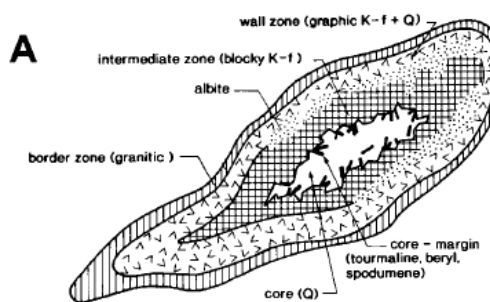


Figura 2 – Estrutura interna de um pegmatito zonado numa secção horizontal. (Cerny, 1991a)

Os pegmatitos com estrutura homogénea possuem cristais dispersos mais ou menos orientados e alinhados entre si, devido a uma distribuição mais ou menos uniforme dos componentes. Já os pegmatitos que apresentam uma estrutura em camadas são considerados casos de uma extrema assimetria composicional e geométrica de intrusões zonadas. Por último, pegmatitos zonados são os mais comuns e diversificados. Os mais evoluídos estão associados a intrusões altamente fracionadas e com mineralizações complexas. De um modo geral, 3 partes principais estão presentes num corpo pegmatítico: bordo exterior, zona intermédia e o núcleo, normalmente composto por quartzo (figura 2). Nestes, devem ser distinguidas as zonas de cristalização primária, substituições de unidades pré-existentes e preenchimento de fraturas. A substituição pode ser difícil de ser reconhecida, mas, o preenchimento de fraturas é mais facilmente observado.

## Mineralogia

A variedade mineralógica que é possível encontrar nos pegmatitos é o resultado da sua diversa composição química. Esta variedade é particularmente observável nos pegmatitos do tipo Elementos Raros (Černý, 1982).

Como referido anteriormente, este tipo de pegmatitos pode dividir-se em duas subclasses, sendo uma delas relativa aos pegmatitos com minerais de lítio. Mineralogicamente, estes podem ser constituídos por minerais comuns a outros pegmatitos, como o quartzo e os feldspatos, sendo estes os constituintes maioritários. Os minerais de lítio mais abundantes são a espodumena, petalite, eucryptite, ambligonite-montebrazite, litiofilite-trifilite e micas litiníferas (Černý, 1982). Estes são também os mais explorados com exceção da litiofilite-trifilite (Kunasz, 2006).



A espodumena é um aluminossilicato de lítio do grupo das piroxenas. A sua cor é muito variável, variando entre branco até verde-escuro, dependendo do teor de ferro presente. Normalmente, a meteorização altera a espodumena para minerais de argila como a montmorilonite e caulinite (Kunasz, 2006). A espodumena pode ocorrer em quatro ambientes diferentes: em pegmatitos não zonados ou pouco zonados; no núcleo de pegmatitos zonados, formando grandes cristais; em pegmatitos cujo mineral é a petalite, ocorrendo associada ao quartzo (SQI), devido a uma transformação isoquímica da petalite; e, mais raramente, ocorre em cavidades pegmatíticas hidrotermais (London e Burt, 1982). Economicamente, a espodumena representa a maior fonte mundial de lítio. Os concentrados de espodumena contêm normalmente 1.9% a 3.2% de lítio (Kunasz, 2006).

A petalite é classificada como o terceiro mineral de lítio mais abundante. Esta possui uma estrutura silicatada e a sua cor varia entre acinzentado a rosado (Kunasz, 2006). Ocorre principalmente na parte interior de pegmatitos zonados. Para além disso, está associada ao quartzo e à microclina. Mais raramente, a petalite pode ainda formar-se em estádios hidrotermais tardios, tendo qualidade de gema e, ainda, como substituição subsólida da espodumena + quartzo (London e Burt, 1982). Em depósitos economicamente explorados, a concentração de lítio na petalite varia entre 1,6% a 2.1% (Kunasz, 2006).

A eucryptite é um aluminossilicato de lítio, mas pobre em sílica, podendo conter cerca de 5,53% de lítio (Kunasz, 2006). Ocorre frequentemente associada à albite ou quartzo, sendo geralmente um mineral secundário, ou seja, corresponde à substituição de outros. Por outro lado, a espodumena e a petalite são normalmente minerais primários (London e Burt, 1982).

A lepidolite é um filossilicato cuja concentração de lítio pode variar entre a 1.4% a 1.9% (Kunasz, 2006). Este mineral forma-se normalmente em fases tardias da cristalização de um pegmatito e, em alguns casos, substitui alguns minerais pré-existentes (London e Burt, 1982).

A ambligonite-montebrazite pertence ao grupo dos fosfatos. Normalmente, ocorre em massas brancas a cinzentas (Kunasz, 2006). A concentração de lítio varia entre 3,5% a 4,2%. Este mineral ocorre, geralmente, nas zonas interiores de pegmatitos zonados (London e Burt, 1982).

## Modelos Petrogenéticos

Apesar de não se verificar consenso na comunidade científica sobre o tema, a génese de pegmatíticos é, frequentemente, atribuída à diferenciação de magmas graníticos, que por fracionamento origina as referidas rochas (Černý, 1991b). A hipótese magmática representa a ideia mais marcada e mais abordada na comunidade científica, nas últimas décadas. No entanto, outras hipóteses têm vindo a surgir para definir qual a origem dos magmas pegmatíticos. Diferentes autores referem conceitos de anatexia, processos metassomáticos ou até a combinação de fracionamento e anatexia como possibilidades para a formação destes magmas (Roda Robles et al., 1999; Simmons e Webber, 2008; Dill, 2016).

A hipótese magmatogénica defendida pelo autor supracitado (Černý, 1991b) refere que pegmatitos com elementos raros correspondem a produtos derivados de um elevado fracionamento de magmas graníticos. A proximidade entre os pegmatitos mineralizados e o granito parental, bem como a evolução textural, mineralógica e geoquímica desde a fonte granítica até aos pegmatitos e dados de datação são alguns dos factos nos quais esta hipótese se baseia.

Tendo em conta que nem sempre é possível estabelecer uma ligação entre corpos graníticos e pegmatitos, foi colocada em discussão a hipótese anatética. Esta defende que é possível a formação de um magma pegmatítico com a mesma composição de um magma derivado por processos de cristalização fracionada, através de anatexia de rochas com composição química adequada. Esta teoria defende que em ambientes colisionais onde existam sequências sedimentares ou metassedimentares (por exemplo, sequências evaporíticas) com componentes de fluxo e elementos incompatíveis podem, por processos anatéticos, originar magmas pegmatíticos (Simmons e Webber, 2008).

Para além disso, existe ainda a hipótese combinada, isto é, fracionamento aliado à fusão parcial. Roda Robles *et al.* (1999), no estudo dos pegmatitos zonados de Fregeneda, refere que a sua formação decorre de fusão parcial seguida de cristalização fracionada.

Recentemente, Dill (2016) propõem uma classificação apontando várias hipóteses para a génese dos pegmatitos. Neste trabalho, a cristalização fracionada de um magma granítico é apenas uma das hipóteses apresentadas, sendo também considerados processos metassomáticos, diferenciação metamórfica, metamorfismo prógrado, anatexia crustal e retrometamorfismo.

## Modelos de Instalação

Os pegmatitos são frequentemente alvo de estudos mineralógicos e geoquímicos com o objetivo de se perceber qual a sua origem. Como referido anteriormente, a maior fatia é atribuída ao fracionamento de magmas graníticos. No entanto, estudos relativos às condições tectónicas que controlam a instalação dos magmas são ainda escassos. Um desses trabalhos pertence a Brisbin (1986), que refere que a posição, forma e orientação dos pegmatitos é controlada por uma complexa inter-relação entre as pressões dos fluídos, competência da rocha encaixante, tensões litostáticas e dirigidas, água presente na porosidade rochosa, entre outros. Brisbin (1986) defende que em níveis superiores da crosta, em ambientes frágeis, onde a pressão litostática e dirigida se combinam com as anisotropias da rocha (como clivagens, fraturas, etc.), criando assim zonas de maior fraqueza que permitem uma instalação do magma mais facilitada, formam-se pegmatitos tabulares com orientações preferenciais. Na crosta inferior, em ambientes mais dúcteis, os pegmatitos podem adquirir formas irregulares.

O tema é abordado alguns anos mais tarde também por Partington (1990). O referido investigador defende que a instalação do magma, que deu origem aos pegmatitos com metais raros de Greenbushes, foi controlada por uma zona de cisalhamento existente na área, que terá servido de estrutura facilitadora, permitindo assim a ascensão do magma e dos fluídos presentes durante o movimento. Partington (1990) refere que este tipo de pegmatitos pode estar encaixado em terrenos metamórficos de alta pressão e temperatura e que não necessitam de um granito parental óbvio.

Recentemente, Demartis et al. (2011), no estudo do campo pegmatítico de Comechingones (Argentina), refere também a importância das zonas de cisalhamento para a instalação dos corpos pegmatíticos. O autor refere que os pegmatitos mineralizados de Comechingones instalaram-se em regime tensão variável, durante a deformação da zona de cisalhamento presente na área. Neste caso, verificaram-se dois mecanismos diferentes para a ascensão do magma, nomeadamente, controlo por fraturas e “*magma-pumping*”. Para além disso, é defendido que aquando do movimento da zona de cisalhamento formaram-se aberturas (figura 3) que serviram para a instalação dos pegmatitos. Com o decorrer da deformação, estes pegmatitos foram rodados e cisalhados. Os pegmatitos instalados depois da deformação preservam a sua posição inicial.

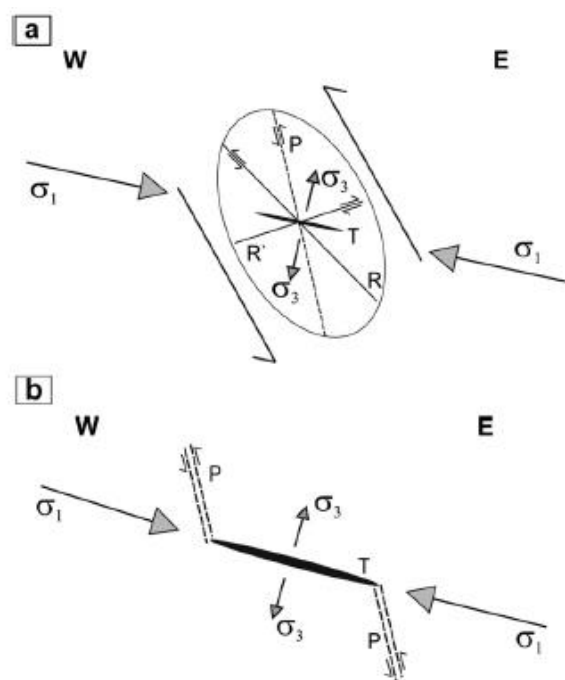


Figura 3 - Modelo esquemático da geração de espaços (fraturas) numa zona de cisalhamento que podem corresponder a locais preferenciais para a instalação de magmas (Demartis et al., 2011).

## Distribuição do magmatismo pegmatítico na Cadeia Varisca

Os pegmatitos representam a unidade básica de cada grupo de pegmatitos. No entanto, dependendo da sua quantidade e área de ocupação, estes podem ser agrupados em campos, cinturas ou províncias pegmatíticas, tendo em comum características estruturais, geoquímicas e ígneas (Černý, 1991b). Os campos de pegmatitos são compostos por filões dispostos numa área inferior a 10 km<sup>2</sup>, apresentando uma ligação geológica e estrutural entre si. Por outro lado, as cinturas pegmatíticas referem-se a campos pegmatíticos localizados em grandes lineamentos estruturais. E, províncias pegmatíticas representam o conjunto dos campos e das cinturas pegmatíticas que se localizam na mesma província metalogénica. Neste último caso, o autor refere a existências de pegmatitos de diferentes tipos, formados em diferentes estádios de evolução crustal.

A um nível europeu, as populações de pegmatitos tendem a localizar-se nas proximidades de estruturas importantes no que respeita ao enquadramento geotectónico. A figura seguinte demonstra as principais províncias Variscas mineralizadas com filões de pegmatito, representadas a amarelo, e províncias com reativação Alpina a azul (Dill, 2015). Como se verifica, o campo aplito-pegmatito do Barroso-Alvão, localiza-se numa província Varisca.

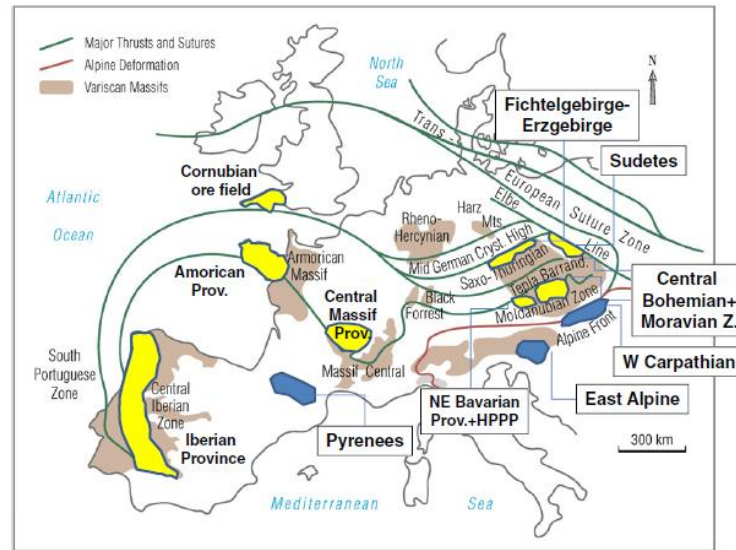


Figura 4 – Maciços variscos na Europa evidenciando as principais suturas. Principais províncias variscas mineralizadas a amarelo; províncias variscas reativadas pela Orogenia Alpina a azul (Dill, 2015).



## **Capítulo III**

### **Enquadramento Geográfico e Geomorfológico**





A região do Barroso-Alvão localiza-se maioritariamente no distrito de Vila Real, ocupando vários concelhos, nomeadamente, Boticas, Ribeira de Pena, Vila Real, Montalegre e, ainda, no concelho de Cabeceiras de Basto, pertencente ao distrito de Braga.

Esta região é abrangida pelas folhas 45 – Alturas do Barroso, 46 – Boticas, 59 – Dornelas, 60 – Vidago, 73 – Ribeira de Pena e 74 – Vila Pouca de Aguiar da carta militar 1/25 000 do Instituto Geográfico do Exército (figura 5).

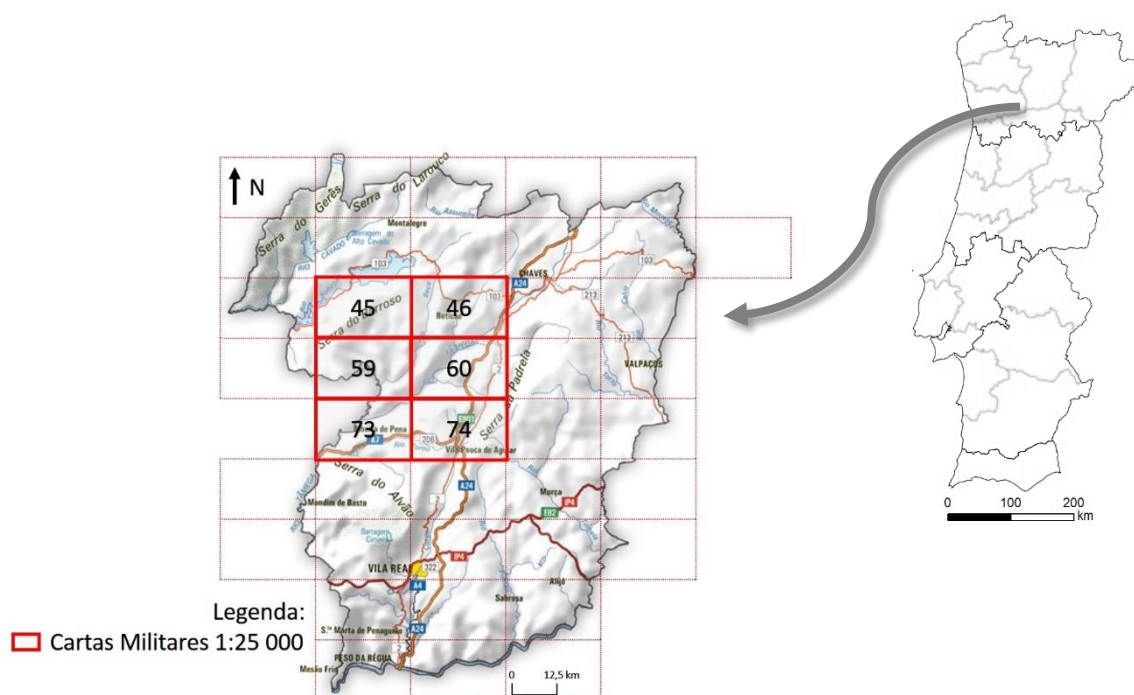


Figura 5 – Cobertura do Campo Aplito-Pegmatítico Barroso-Alvão pelas cartas militares 45, 46, 59, 60, 73 e 74 à escala 1:25 000. (<http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.html>.)

Tal como o nome indica, a área, de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>, localiza-se entre as Serras do Barroso e do Alvão, ambas com cerca de 1300 metros de altitude. Entre elas, terrenos de declive acentuado encaixam vários rios, como o Covas, Beça e o Rio Tâmega, com um traçado preferencial de direção NE-SW. Este último tem visto o seu potencial hidroelétrico explorado, pondo em causa culturas locais e ainda a exploração de alguns corpos mineralizados em estudo.

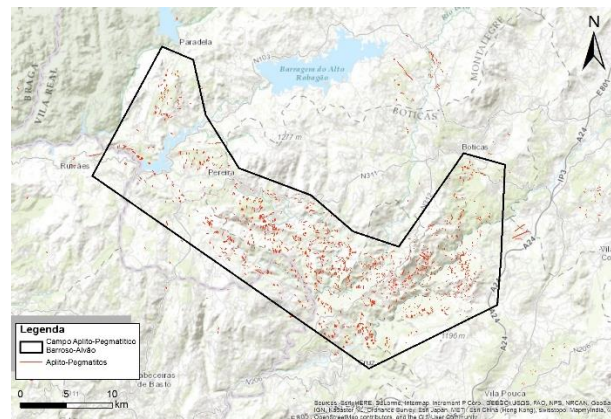


Figura 6 – Delimitação do Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão, com a projeção dos corpos filonianos.

A zona em estudo (figura 6) pode ser facilmente acedida através da autoestrada A7 (Póvoa de Varzim- Vila Pouca de Aguiar), saindo para Ribeira de Pena ou através da A4 (Porto-Bragança), continuando na nacional nº2, que atravessa a área.

A área abrangida pelo Campo Aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão, para além de mineralizações em lítio, apresenta inúmeros trabalhos mineiros que estiveram em atividade no passado, como é possível observar na figura 7. Estes estavam direccionados para a exploração de outros minérios, principalmente, estanho, como é exemplo o Alto Tâmega, onde ocorre em filões e massa aplito-pegmatíticas sob a forma de cassiterite (Ribeiro et al., 2000; Sant'Ovaia et al., 2011).

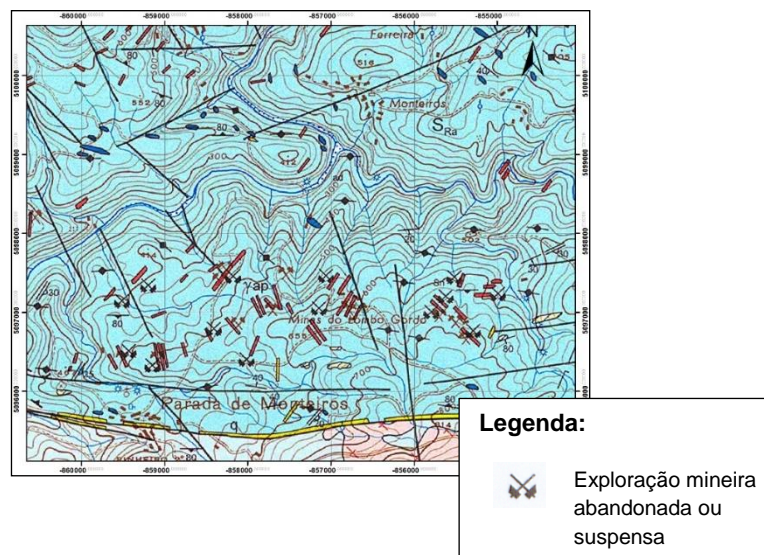


Figura 7 – Excerto da carta geológica 6D - Vila Pouca de Aguiar. Antigas explorações mineiras de estanho (Sn) associadas a filões de aplito-pegmatito (Noronha et al., 1998).

Na sua generalidade estes filões apresentam uma orientação NNE-SSW e NW-SE. Para além disso, a cassiterite é muitas vezes encontrada em depósitos aluvionares de linhas de água que drenam os filões (Sant'Ovaia et al., 2011).

Atualmente, decorrem alguns trabalhos para a exploração de vários minérios (figura 8), nomeadamente, o lítio, presente em minerais como a espodumena e a petalite, para uso na indústria cerâmica, cujos depósitos mais importantes localizam-se em Alijó, Veral e Adagoi.

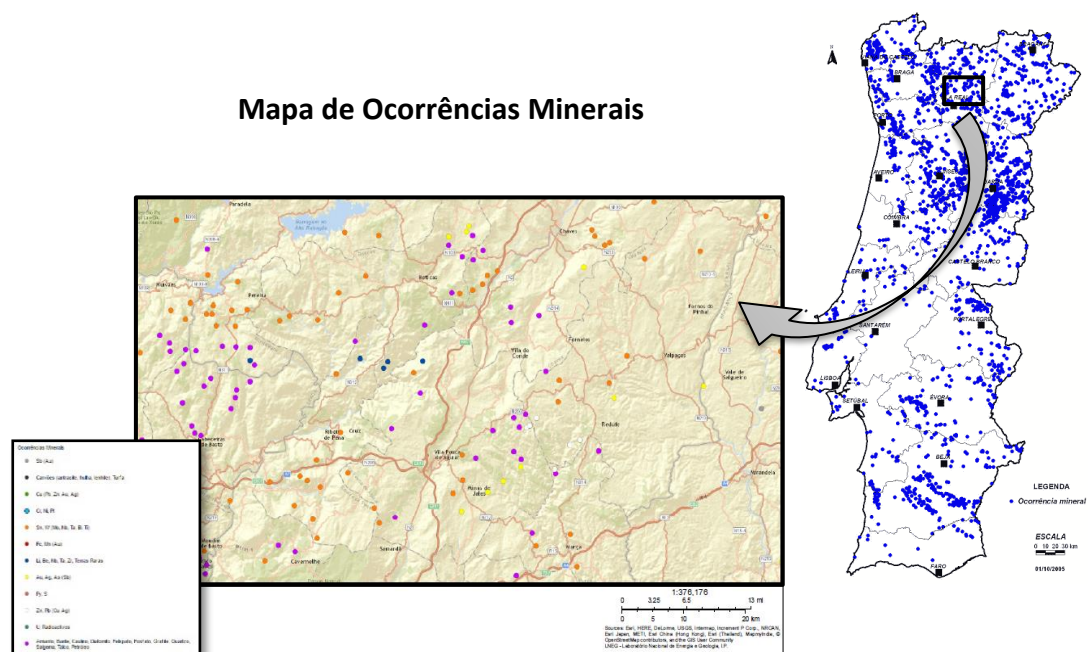


Figura 8 – Mapa de ocorrência mineral na área de estudo. No mapa à esquerda, os pontos a azul representam as explorações de Li mais importantes no Barroso-Alvão. (adaptado de <http://geoportal.ineg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.htm> )



# **Capítulo IV**

## **Geologia**



## Introdução

A Península Ibérica apresenta características geológicas e morfoestruturais muito distintas em toda a sua extensão, sendo constituída pelo denominado Maciço Hespérico, o qual representa o fragmento mais ocidental do Varisco europeu (Ribeiro et al., 1979).

O referido maciço encontra-se primeiramente dividido em zonas internas, onde o Pré-Câmbrico e o Paleozóico inferior estão melhor representados, a deformação é mais intensa e o metamorfismo e magmatismo *sin-orogénicos* estão mais difundidos, e zonas externas, onde o Paleozóico superior é mais marcado, a deformação menos intensa e mais tardia e o magmatismo e o metamorfismo *sin-orogénicos* menos presentes (Ribeiro et al., 1979).

Estes dois grandes grupos podem ser divididos nas zonas (figura 9): Cantábrica, Oeste Astúrico-Leonesa, Zona Galiza - Trás-os-Montes, Centro-Ibérica, Ossa-Morena e Sul Portuguesa, onde a primeira e a última representam as zonas externas e as restantes as zonas internas (Julivert et al, 1974; Ribeiro et al, 1979; Farias, 1987).

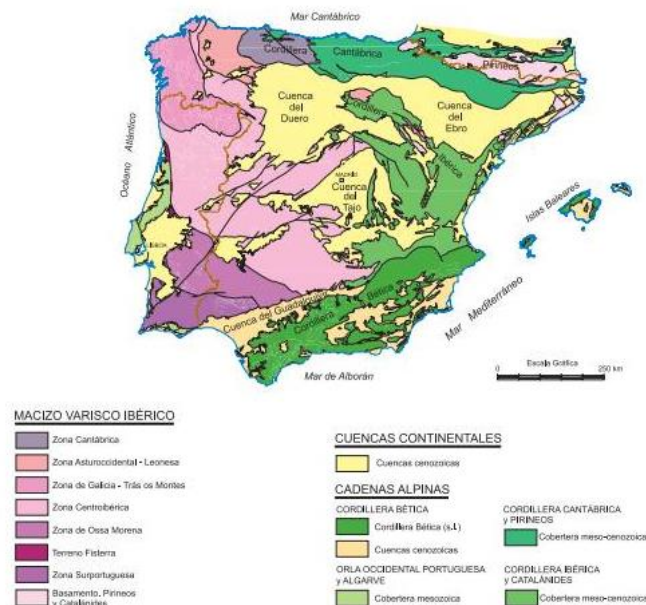


Figura 9 – Zonas morfoestruturais da Península Ibérica. (Julivert et al., 1974) Carta 1:1 000 000 de Portugal e Espanha, 2015.

O campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão encontra-se na Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), próximo do limite da Zona Centro Ibérica, sendo este marcado por

um carreamento maior da segunda fase de deformação Varisca (Ribeiro et al., 1979; Farias et al., 1987; Sant'Ovaia et al., 2011)

A ZGTM é caracterizada pela existência de mantos sobrepostos separados por carreamentos, correspondendo a unidades alóctones e parautóctones. Cada uma destas unidades têm diferentes características estruturais, estratigráficas e/ou metamórficas (Ribeiro, 1999).

A zona de estudo localiza-se em terrenos parautóctones, existindo também uma pequena porção do autóctone, sendo estes essencialmente constituídos por rochas metassedimentares do Paleozóico e granitoides *sin*-orogénicos hercínicos.

As unidades litológicas da área de estudo foram afetadas pelas fases de deformação da orogenia varisca, existindo vestígios desta tanto nos aplito-pegmatitos com no seu encaixante.

## **Tectónica e Metamorfismo**

Segundo Dias e Ribeiro (1995), a Orogenia Varisca afetou a Península Ibérica de diferentes modos e intensidades, dividindo-a assim em dois setores, ou seja, no setor norte: Zona Cantábrica, Zona Oeste Astúrico-Leonesa; Zona Galiza Trás-os-Montes e Zona Centro Ibérica; e no setor sul: Zona de Ossa Morena e Zona Sul Portuguesa (figura 10).

Autores como Ribeiro (1974) e Dias e Ribeiro (1995) suportam a ideia que a deformação da ZCI e da ZGTM, que ocorre devido à Orogenia Varisca, deu-se em três fases ( $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ ). A fase  $D_1$ , consoante o tipo de terreno, isto é, autóctone, parautóctone ou alóctone, forma dobras com diferentes orientações e vergências, mas ainda assim estas apresentam uma orientação predominantemente NW-SE e com plano axial vertical nas regiões autóctones, e vergente nas regiões parautóctones. Nesta fase, a foliação ( $S_1$ ) é paralela à estratificação ( $S_0$ ) cuja orientação principal corresponde a  $N120^\circ$ . A fase  $D_2$  representada sobretudo no alóctone e no parautóctone apresenta uma acentuada vergência das dobras para SE, ocorrendo nesta a formação de várias dobras deitadas com flanco inverso curto. A fase  $D_3$ , tal como  $D_1$ , afeta todos os terrenos, implicando dobras largas de pequena amplitude com plano axial vertical. Nesta fase de deformação, a foliação a ela associada depende essencialmente do tipo e da orientação das anisotropias e foliações prévias, produzindo uma clivagem de crenulação penetrativa ( $S_3$ ) associada a zonas de cisalhamento.



Além disto, ao mesmo tempo que ocorria a fase  $D_3$  foram desenvolvidas zonas de cisalhamento dúctil, verticais.

Após esta última fase, ocorreu deformação frágil, gerando-se falhas e fraturas que afetaram toda a área de estudo, nomeadamente a falha Régua Verin. As suas direções variam entre  $N020^\circ - N030^\circ E$  a N-S, e E-W a ENE-WSW. (Noronha *et al.*, 1981; Dias e Ribeiro, 1995).

Um dos aspetos mais marcantes da Zona Galiza Trás-os-Montes é a sobreposição estrutural dos seus terrenos, alóctones e parautoctones, que ocorre devido a carreamentos (Arenas *et al.*, 1988; Ribeiro *et al.*, 1990)

A área de estudo localiza-se no setor norte que, segundo Dias e Ribeiro (1995), foi o mais afetado pela referida orogenia, deixando evidências das três fases de deformação dúctil ( $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ ), nomeadamente, a existência de três foliações denominadas por  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  (Noronha *et al.*, 1981).

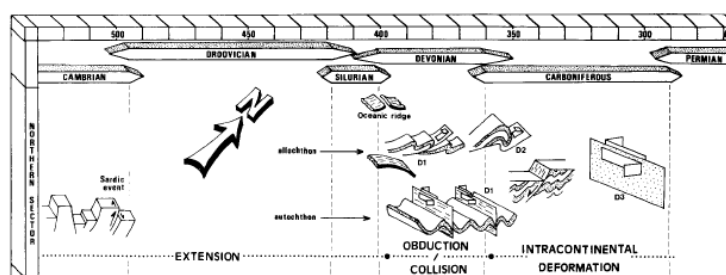


Figura 10 – Tempo e modo de atuação das diferentes fases da orogenia Varisca no setor norte da Península Ibérica. (Dias e Ribeiro, 1995)

No campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão, os filões de aplito-pegmatito, por vezes, instalaram-se em eixos resultantes da terceira fase de deformação (figura 11).



Figura 11 – Filão aplito-pegmatítico instalado paralelamente ao eixo de uma dobra de terceira fase (Fotografia cedida pelo Professor Fernando Noronha).

Para além dos metassedimentos, a deformação afetou também alguns filões, dobrando-os. De referir também que alguns filões evidenciam cisalhamentos tardios, como é o caso do filão representado na figura 12.

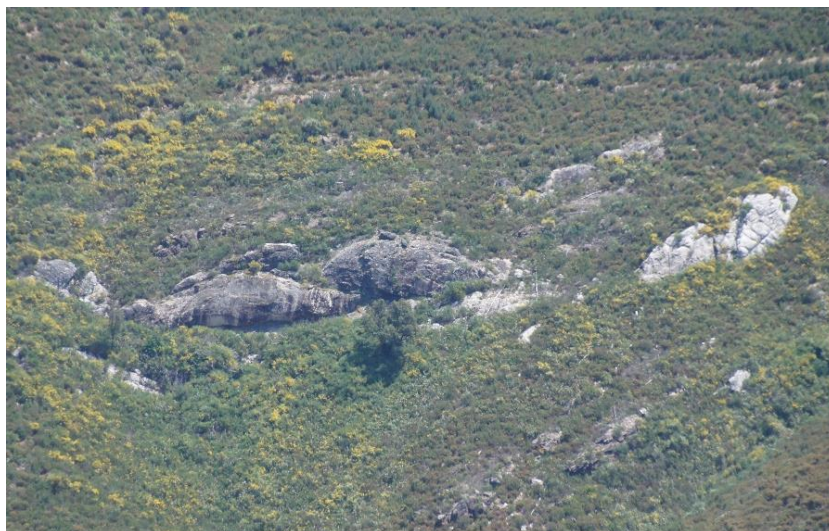


Figura 12 – Filão deformado orientado para N160° (Filão CHN3) (Fotografia cedida pelo Doutor Christian Schmidt).

A deformação varisca é acompanhada por metamorfismo regional e naturalmente um intenso magmatismo sin-orogénico.

O campo aplitopegmatítico do Barroso-Alvão localiza-se numa zona de metamorfismo prógrado, caracterizada por médias a baixas pressões e altas temperaturas que terão sido provocadas pela intrusão de granitos sin-tectónicos e tardi-tectónicos. A isógrada de metamorfismo não só é paralela ao contacto do granito, mas também aos contactos litoestratigráficos (Ribeiro et al., 2000).

Verifica-se a presença de associações mineralógicas que indicam que a área de estudo pertence à zona da andaluzite (Ribeiro et al., 2000):

- i) quartzo + moscovite + biotite +/- andaluzite +/- estauroлите;
- ii) quartzo + moscovite + biotite +/- andaluzite +/- estauroлите +/- granada +/- plagioclase.

Na figura 13 é possível observar uma das várias cristas andaluzíticas que marcam o relevo na área de estudo, evidenciando também deformação, visível nos cristais de andaluzite



Figura 13 - Crista andaluzítica no campo aplito-pegmatítico Barroso-Alvão com evidências de deformação D<sub>3</sub>.

## Metassedimentos do Paleozóico

Na área de estudo do Barroso-Alvão, a ZGTM é caracterizada por rochas metassedimentares e vulcano-sedimentares do Ordovícico superior ao Devónico, a qual está dividida em dois domínios estruturais: o Domínio Estrutural de Trêsminas (DETM) e o Domínio Estrutural de Carrazedo (DEC). Estes domínios encontram-se divididos por um carreamento, encontrando-se o DETM na base e do DEC no topo (Ribeiro et al, 2000; Sant’Ovaia et al, 2011)

### 1.1. Autóctone e Parautóctone

#### 1.1.1. Grupo do Douro (?)

No interior do granito de duas micas que aflora no sudoeste da área de estudo – Granito de Santa Marta do Alvão -, foram identificadas pequenas porções de metassedimentos, constituídos por micaxistos de duas micas (Moscovite > Biotite), com porfiroblastos de andaluzite e/ou cordierite, tendo ainda algumas intercalações de metagrauvaques também estes muito micáceos.

Provavelmente, estas unidades litológicas farão parte do Grupo do Douro do CXG (Complexo Xisto-Grauváquico), tendo em conta a sua continuidade noutras regiões que se encontram nas proximidades, nomeadamente, o setor nordeste da folha 10A-Celorico de Basto e no lado sudeste da folha 6C-Cabeceiras de Basto.

#### 1.1.2. Domínio Estrutural de Tresminas (DETM)

O DETM corresponde ao manto tectónico mais basal do parautóctone, sendo também denominado por Parautóctone Inferior. Neste domínio individualizam-se ainda duas unidades litoestratigráficas, com litologias bastante diferentes, sendo estas denominadas por: Unidade das Fragas Negras ( $S_{FN}$ ) e a Unidade dos Curros ( $D_{CU}$ ).

##### 1.1.2.1. Unidade das Fragas Negras ( $S_{FN}$ )

Provavelmente de idade Silúrica, a Unidade das Fragas Negras localiza-se na base do DETM, aflorando alternadamente devido ao dobramento apertado de orientação N120°E.

A referida unidade é constituída por quartzofilitos e filitos cinzentos a negros, intercalados com liditos, que pontualmente e lateralmente passam a quartzitos cinzentos., apresentando também, por vezes, intercalações rochas calcossilicatadas e carbonatadas negras. Caracteriza-se pela elevada quantidade em matéria orgânica nas rochas mais argilosas, siliciosas e carbonatadas.

#### **1.1.2.2. Unidade dos Curros ( $D_{Cu}$ )**

A Unidade dos Curros localiza-se temporalmente entre o Silúrico inferior e o Devónico superior, constituindo o topo do DETM. Aflorando alternadamente com a Unidade das Fragas Negras, a Unidade dos Curros pode aflorar também em grandes extensões.

Esta unidade tem uma composição pelítica e, litologicamente, é composta por filitos, metaquartzograuvaques e ainda, em menor quantidade, metagrauvaques. Estas finas intercalações mais ou menos gresosas representam a estratificação ( $S_0$ ).

#### **1.1.3. Domínio Estrutural de Carrazedo ( $DEC$ )**

O Domínio Estrutural de Carrazedo é menos homogéneo do que do DETM, havendo unidades com sequências e litológicas que têm correspondência com unidades da parte oriental da ZGTM (Ribeiro, 1974, Farias, *et al.*, 1987). Este encontra-se dividido por um carreamento, originando dois subdomínios: Domínio Inferior e Domínio Superior, que por sua vez se dividem em unidades e subunidades. Tanto um domínio como o outro são constituídos por rochas vulcano-sedimentares em maior número na base, e rochas com teores em matéria orgânica variáveis no topo.

##### **1.1.3.1. Subdomínio Inferior**

##### **1.1.3.1.1. Unidade de Vale da Égua**

A Unidade de Vale da Égua tem a sua idade compreendida entre o Silúrico inferior e o Silúrico superior. Esta subdivide-se na Sub-Unidade de Alto da Cheira ( $S_{AC}$ ), na base, e na Sub-Unidade de Rancho ( $S_{Ra}$ ).

##### **1.1.3.1.1.1. Sub-Unidade do Alto da Cheira ( $S_{AC}$ )<sup>6y</sup>**

A Sub-Unidade do Alto da Cheira é composta por metavulcanitos ácidos com diferenciação magmática e filitos subordinados intercalados com rochas calcossilicatadas. De salientar que no setor oeste da Falha Penacova-Régua-Verin não se visualiza esta sub-unidade.

#### **1.1.3.1.1.2. Sub-Unidade de Rancho ( $S_{Ra}$ )**

A Sub-Unidade de Rancho ( $S_{Ra}$ ) possui as mesmas litologias da  $S_{AC}$ , distinguindo-se desta pela elevada quantidade de rochas de coloração negra, como xistos negros, xistos amplitosos e, em menor quantidade, liditos, que passam lateralmente para a quartzitos cinzentos. Esta sub-unidade é visível em ambos os lados da Falha Penacova-Régua-Verin.

#### **1.1.3.1.1.3. Sub-Unidade de Cubo ( $S_{Cb}$ )**

A Sub-Unidade de Cubo é descrita como pertencendo ao Silúrico superior, não aflorando no Vale do Tâmega, estando apenas identificada na parte mais SE da área de estudo. Dado que esta sub-unidade é essencialmente siliciosa (quartzofilitos, quartzitos, ...), ou seja, bastante mais competente que a Sub-Unidade de Rancho, o contacto entre estas é feito por cavalgamento.

### **1.1.3.2. Subdomínio Superior**

#### **1.1.3.2.1. Unidade de Santa Maria de Émeres ( $S_{SE}$ )**

Na Unidade de Santa Maria de Émeres estão presentes litologias com as mesmas características das sub-unidades descritas anteriormente, ou seja, apresenta rochas vulcano-sedimentares na base, seguindo-se por rochas de coloração mais escura devido à presença de matéria orgânica e, a topo, apresentam-se litologias siliciosas, com quartzitos.

## **Depósitos de Cobertura**

No campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão estão presentes Terraços do Quaternário representados por calhaus rolados a subrolados, mal calibrados e de diferentes fontes genéticas. Estes não foram encontrados na área estudada.

Para além disso, temos os depósitos de aluvião atuais e do Holocénico que correspondem a depósitos de areia e argila, localizados nas margens dos diferentes rios.

## Granitóides Hercínicos

As fácies graníticas não estão uniformemente distribuídas pelo território nacional, localizando-se preferencialmente na ZGTM e na ZCI, intruindo os seus metassedimentos. Para além disso, é descrita uma tendência para a instalação destas massas em zonas de alinhamento estrutural, isto é, zonas que podem ser de cisalhamento dúctil, associados à terceira fase de deformação Varisca, e zonas de sutura entre duas unidades morfoestruturais (Ferreira *et al.*, 1987).

Para um melhor entendimento destas litologias, foram sendo propostas algumas classificações tendo em conta critérios cronológicos (Schermerhon, 1956; Oen, 1958, 1960), químico-petrográficos (Capdevila e Floor, 1973), entre outros. No entanto, nas diferentes classificações, por vezes, critérios tectónicos não foram tidos em conta, colocando, por exemplo, no mesmo grupo granitos (*sensu lato*) de fases tectónicas distintas. Então, Ferreira *et al* (1987) propuseram uma classificação em função do período de instalação dos granitóides da ZCI relativamente às principais fases da Orogenia Varisca, tendo em conta também aspetos texturais, mineralógicos e as suas relações geométricas. Do referido trabalho resultou uma divisão em *ante*, *sin*, *tardi* e *pós* tectónicos.

Neste trabalho de dissertação apenas serão abordados granitos classificados como *sin* e *pós* tectónicos, pelo que apenas serão referidas as características destes.

O grupo dos granitos *sin*-tectónicos é composto por vários tipos de granitos, dividindo-se em dois subgrupos:

- Granitos biotíticos com plagioclase cálcica e seus diferenciados
- Granitos de duas micas ou biotíticos com restites

Os granitos biotíticos com plagioclase cálcica e seus diferenciados têm uma origem mais profunda, cujo *melt* é pouco hidratado, ocorrendo baixas taxas de fusão parcial. Estes granitos apresentam alguma afinidade com o Tipo I (Chappel e White *in* Ferreira *et al.*, 1987), embora tenha um carácter peraluminoso, sugerindo assim uma origem mista. Ferreira *et al.*, 1987 propõe ainda que os granitos intruem preferencialmente em zonas de cisalhamento, sendo estes mais deformados e mais antigos do que aqueles que se encontram em zonas mais afastadas, mas paralelas, dos referidos alinhamentos. É o caso do granito porfíroide biotítico da Borralha e das rochas



tonalíticas a ele associadas, que se instalaram junto ao limite com as formações metassedimentares do parautoctone.

Os granitos de duas micas ou biotíticos com restites resultaram de grandes percentagens de fusão parcial de sedimentos hidratados, conferindo -lhes um carácter peraluminoso, tendo também afinidades com o tipo S. Estes, tal como os anteriores, distribuem-se preferencialmente por zonas de cisalhamento, intruindo em antiformas da fase D<sub>3</sub> da orogenia Varisca.

O grupo dos granitos *pós*-tectónicos são essencialmente biotíticos com plagioclase cálcica. De todos os géneros descritos, estes são aqueles cuja afinidade com o tipo I é maior, embora tenham uma ligeira tendência peraluminosa. Ainda de referir que estes tiveram uma origem mais profunda e possivelmente derivaram de fracionamento de magmas básicos.

Na região do Barroso-Alvão afloram granitos *sin*-tectónicos, nomeadamente, o Granito de Cabeceiras de Basto, Barroso, e *pós*-tectónicos, como o Granito de Vila Pouca de Aguiar, e que de certa forma limitam a área.

## 1.2. Sin-Tectónicos

### 1.2.1. Complexo Granítico de Cabeceiras de Basto

O Complexo Granítico de Cabeceiras de Basto (311±1 Ma) situa-se a oeste do campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão (Noronha, 1992; Martins *et al.*, 1999).

Tal como o nome indica, trata-se de um conjunto de fácies graníticas que foram divididas em três grupos segundo critérios de granulometria (granito de grão fino, médio e grosseiro) e ainda subdivididos tendo em conta critérios petrográficos:

- Granito de grão fino – Sámão.
- Granito de grão fino com moscovite dominante – Torreirinhas e Cabeceiras.
- Granito de grão médio - Cabreira
- Granito de grão médio com moscovite dominante – Alto da Murça
- Granito de grão médio a grosseiro - Anjos
- Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide e porfiroide – Abadim

Globalmente, os granitos apresentam uma forma alongada com direção NW-SE, ou seja, concordante com a estrutura regional. Este complexo é ainda afetado por duas



direções de cisalhamento (N160° - esquerdo; N0° a N30° - direito). Nas três séries graníticas, os minerais mais abundantes são o quartzo, plagioclase, feldspato potássico, moscovite e biotite. Todas as fácies apresentam um carácter evoluído, devido ao empobrecimento em biotite e a abundância em moscovite.

No interior do complexo estão cartografados alguns filões de aplito-pegmatito, apresentando-se em maior número na rocha encaixante localizada a oeste. É referido na bibliografia que o granito de Cabeceiras de Basto e os aplito-pegmatitos poderão estar relacionados (Almeida, 1994; Lima, 2000). No entanto, trabalhos mais recentes referem a dificuldade em estabelecer esta relação, avaliando critérios espaciais (Silva, 2014).

### **1.2.2. Complexo Granítico do Barroso**

O Complexo Granítico do Barroso limita a norte o Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão. Este complexo é constituído pelos granitos do Barroso, Vila da Ponte Pisões e Vilar. Os dois primeiros são os que apresentam maior expressão, representada na folha 6 A – Montalegre.

O Granito do Barroso caracteriza-se por ser um granito de duas micas (biotite > moscovite), de grão grosseiro com tendência porfiróide. Apresenta-se orientado, sendo essa orientação mais visível nos contactos com os metassedimentos encaixantes. Mineralogicamente, este é constituído por quartzo, feldspato potássico, plagioclase, biotite e moscovite (Noronha e Ribeiro, 1983; Ribeiro et al., 2000).

O Granito de Vila da Ponte localiza-se a NW da área de estudo. Caracteriza-se por ter grão médio de duas micas (biotite > moscovite), com tendência porfiróide, cujos megacristais são de microclina. Para além disso, ocorrem pontualmente nódulos biotíticos (Noronha e Ribeiro, 1983; Ribeiro et al., 2000).

O Granito de Pisões é um granito de duas micas, de grão médio a grosseiro, não apresentando uma tendência porfiróide ao contrário do granito ao qual está associado, o Granito do Barroso. Esta fácies granítica apresenta-se mais orientada no que o Granito do Barroso, no entanto o seu contacto é gradual (Noronha e Ribeiro, 1983).

O Granito de Vilar é um granito de grão médio a fino, de cor escura devido à elevada quantidade de biotite. Este granito aflora no interior do Granito de Vila da Ponte (Noronha e Ribeiro, 1983).

Relativamente ao potencial metalogénico, este não pode ser facilmente inferido dada a escassez de dados geoquímicos relativamente a este complexo. Sabe-se apenas que os granitos de duas micas do Barroso terão uma composição global semelhante aos granitos de Cabeceiras de Basto (Lima, 2000).

### 1.3. Pós Tectónicos

#### 1.3.1. Maciço de Vila Pouca de Aguiar

O Maciço pós tectónico de Vila Pouca de Aguiar ( $299 \pm 3$  Ma) encontra-se a Este da área de estudo. Este maciço de forma alongada tem um carácter biotítico e apresenta-se discordante do seu encaixante e das estruturas *sin* D<sub>3</sub>, não apresentando deformação visível a olho nu. A direção NNE-SSW do maciço coincide com a da falha Régua-Verin, o que poderá indicar que esta, possivelmente, pode ter controlado a sua instalação. No entanto, também a fracturação tardia, reativada ou provocada em D<sub>4</sub>, poderá ter sido outra condicionante (Martins et al., 1999; Sant'Ovaia, 2000).

Na sua generalidade, o maciço apresenta uma fácies porfiróide, com megacristais de feldspato potássico e por vezes plagioclase. Quartzo e biotite são os constituintes mais abundantes (Sant'Ovaia, 2000).

Este maciço possui três fácies graníticas que desenham um zonamento concêntrico: Granito de Vila Pouca de Aguiar, Granito de Gouvães da Serra e Granito de Pedras Salgadas. Segundo Sant'Ovaia (2000), existem duas fácies principais, nomeadamente o Granito de Vila Pouca de Aguiar e o Granito de Pedras Salgadas, uma vez que o Granito de Gouvães da Serra apresenta pouca expressão.

De referir que, neste maciço estão cartografados escassos aplitos ou pegmatitos, havendo algumas ocorrências no setor mais noroeste da intrusão granítica. Segundo a bibliografia, os aplito-pegmatitos não estarão relacionados com este granito (Noronha et al., 1998; Lima, 2000).

### Filões aplito-pegmatíticos do Barroso-Alvão

Na região do Barroso-Alvão, existem aplitos, pegmatitos e aplito-pegmatitos de natureza granítica (Ribeiro *et al.*, 2000). Designam-se aplitos os filões cuja única fácies presente é a aplítica, que não significa apenas rocha de grão fino, mas também rocha com fraca coloração. Este tipo de filão, encaixado nos metassedimentos do Silúrico, apresenta-se francamente meteorizado e pode ainda conter alguma mineralização em estanho (Sn), que em algumas situações foi explorada artesanalmente. Também os filões denominados por pegmatitos apresentam apenas a fácies pegmatítica. Estes

filões de pequenas dimensões afloram tanto nos metassedimentos como nos granitos, mas não apresentam qualquer mineralização em lítio nesta última situação. Por outro lado, os aplito-pegmatitos são o tipo com maior expressão. Estes afloram no seio do granito *sin*-tectónico de duas micas, não estando mineralizados ou nos metassedimentos podendo apresentar-se mineralizados em lítio, e, por vezes, com uma elevada quantidade de minerais litíferos (espodumena, petalite ou ambos), tendo sido incluídos na classe Elementos Raros de Černý e Ercit (2005). Este tipo de filão não apresenta um zonamento como os descritos para os grandes campos pegmatíticos (por ex.: Tanco, Greenbushes, entre outros). O único zonamento observável prende-se com a existência de uma fácies mais aplítica nos contactos, mas o restante filão corresponde a uma mistura complexa da fácies aplítica e pegmatítica (Lima, 2000).

Geralmente, os pegmatitos com elementos raros têm uma forma bastante variável, sendo controlada pela competência da rocha encaixante, profundidade de instalação e regime tectono-metamórfico durante a instalação. As suas orientações são também elas bastante variáveis, oscilando entre horizontal até vertical (Černý, 1991a). No caso do Barroso-Alvão, os aplito-pegmatitos distribuem-se numa área bastante alargada, entre as serras do Barroso e do Alvão (figura 14). Estes apresentam uma relação bastante variável com os metassedimentos silúricos nos quais intruem. Em alguns casos verifica-se uma concordância com o encaixante, por outro lado, existem outros filões que são fortemente discordantes (Charoy et al., 1992).

Para além disso, os aplito-pegmatitos do Barroso-Alvão apresentam uma forma e posição no terreno bastante diversa. Estes corpos filonianos, que por vezes se apresentam de forma alongada ou lenticular, possuem diferentes inclinações, variando entre horizontal e vertical. (Charoy et al., 1992). As suas orientações parecem ser controladas pela foliação  $S_2$ , que foi localmente deformada por  $S_3$  (crenulação cujos planos axiais subverticais correspondem a  $N120^\circ$ , em média) (Charoy et al., 2001).

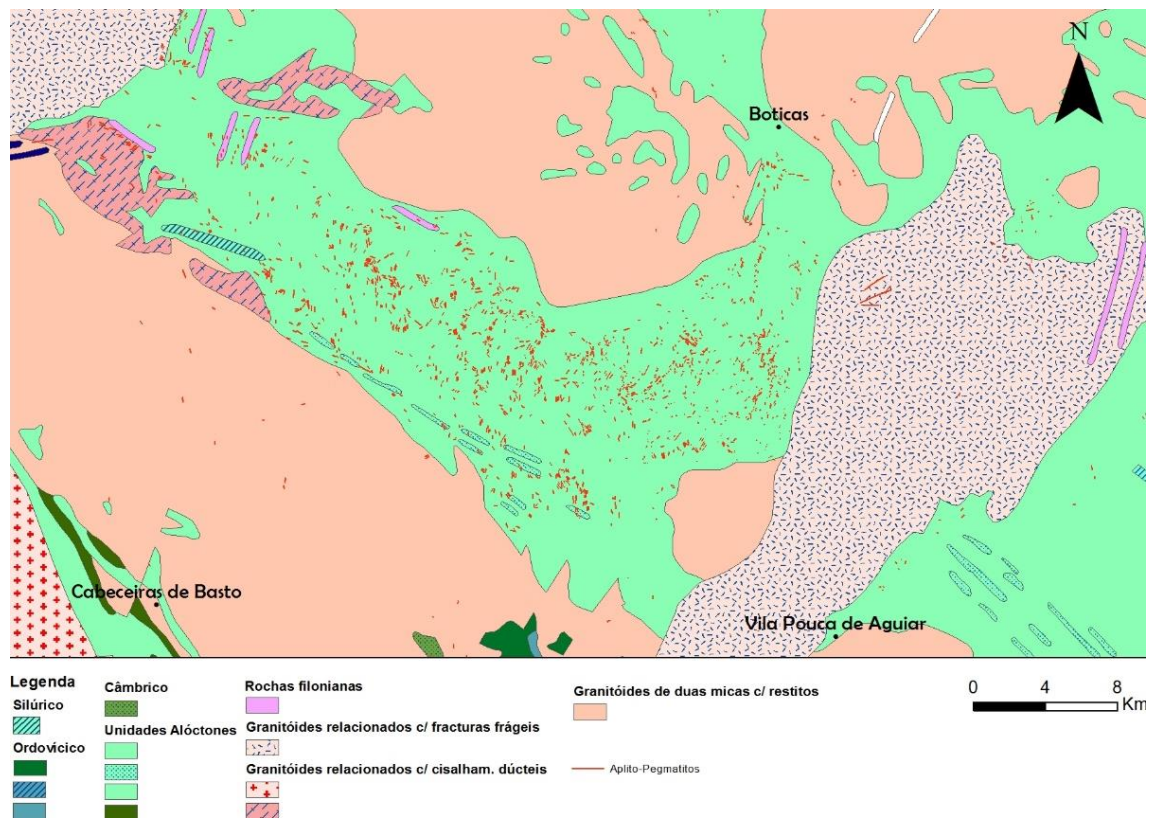


Figura 14 – Projeção dos filões de aplito-pegmatito do Barroso-Alvão em base topográfica.

## **Capítulo V**

### **Análise Estatística Espacial e Prospeção num SIG**



## V.1 – Introdução

Nas últimas duas décadas, a caracterização espacial tem vindo a tomar lugar na comunidade científica. Vários autores (por ex.: Carranza, 2009a; Deveaud et al., 2013; Silva, 2014; Deveaud et al., 2015) têm desenvolvido trabalhos, onde é realizada uma análise da distribuição espacial e a sua relação com unidades litológicas e outras estruturas envolventes.

A distribuição espacial de ocorrências de um determinado tipo de depósito mineral é considerada *não aleatória* pela comunidade geológica, devido essencialmente a dois fatores: o controlo genético das ocorrências pode dever-se à inter-relação entre determinados processos ocorridos ou características geológicas da região; e, as ocorrências demonstram uma certa associação espacial com algumas características geológicas (Carranza, 2009a). Como tal, a análise espacial de elementos geológicos (litologias, falhas, foliações, etc.) fornece informações que poderão contribuir para um melhor entendimento dos sistemas mineralizados (Carranza, 2009b).

No caso particular dos pegmatitos com elementos raros, os trabalhos desenvolvidos para a melhor compreensão da génese e relação entre pegmatitos e a geologia envolvente são, geralmente, baseados na mineralogia, petrologia, geocronologia e/ou geoquímica isotópica. Nestas rochas, a prospeção assenta num modelo, atualmente, bastante utilizado, proposto por Trueman e Černý (1982), que refere que há um enriquecimento dos pegmatitos em minerais raros à medida que nos distanciamos do granito parental, como referido no capítulo II. No entanto, como referido anteriormente neste trabalho, alguns campos pegmatíticos não se perfilam neste modelo.

Assim, com o objetivo de restringir os processos envolvidos na génese dos campos de aplito-pegmatitos do tipo LCT, é importante começar por caracterizar as relações espaciais entre os filões de aplito-pegmatito e as estruturas vizinhas (Deveaud et al., 2013).

Em extensas áreas, a distribuição das ocorrências é representada por pontos distribuídos no terreno. Assim, um mapa de pontos pode ser usado como base de dados num SIG, com o objetivo de caracterizar a organização espacial das ocorrências. A distribuição espacial de um conjunto de pontos pode ser classificada quanto à relação que eles têm entre si, como é observável na figura 15 (Carranza, 2009b).



Figura 15 – Modelos de distribuição de pontos. 1- Aleatório; 2- Agrupado; 3- Regular. (extraído e adaptado de (Carranza, 2009b).

Um modelo aleatório retrata objetos, que não apresentam nenhuma relação entre si. Este tipo de modelo sugere que a génese destes objetos resultou de processos independentes. O segundo caso sugere que houve uma inter-relação de processos que permitiram o agrupamento destes objetos em locais preferenciais. Por último, no padrão regular, os objetos apresentam uma distância entre si, em geral, superior à distância presente no padrão aleatório. Neste caso é sugerido que houve, também, uma inter-relação de processos mas que levou à instalação dos objetos separadamente, em determinados locais. Idealmente, ter-se-á uma situação de agrupamento ou localização preferencial, pois indica que a instalação dos objetos pode ter sido originada ou controlada por fatores em comum. Neste contexto, os pontos distribuídos no terreno são designados por objetos. Sendo que seguidamente, como o foco do estudo são as ocorrências minerais, considera-se os objetos em estudos as ocorrências minerais que podem ser representadas por pontos. A título de exemplo, se os objetos a representar fossem os contactos litológicos seriam representados por linhas.

A análise da distribuição das ocorrências de uma determinada região pode ser feita através de dois métodos, nomeadamente, através da dispersão ou da disposição dos pontos no terreno. O método de dispersão estuda a localização dos pontos relativamente a uma área delimitada. Já o método de disposição trabalha a localização dos pontos relativamente uns aos outros, cujo limite da área não é conhecido. A análise de pontos e a sua associação espacial com dados geológicos relevantes é bastante útil, uma vez que permite, por exemplo, a definição de um modelo conceptual com vista à prospeção do mineral existente no jazigo e conhecer possíveis causas geológicas que controlem a localização das ocorrências (Carranza, 2009b).

Para além da análise da distribuição espacial, outras ferramentas, também em ambiente de um SIG, são usadas para caracterizar corpos mineralizados num campo pegmatítico, sendo possível a localização de novas ocorrências, numa dada área, nomeadamente, através geração de bacias de drenagem, utilizando por base dados de sedimentos de corrente.



Os sedimentos de corrente correspondem a materiais recolhidos em qualquer parte de uma linha de água, que derivam da erosão química ou mecânica de rochas e solos a montante. A amostragem de sedimentos de corrente é uma metodologia bastante utilizada na prospeção geoquímica. E, utilizando estes dados, é possível a geração de bacias de drenagem que delimitam a área que contribui para a geoquímica inferida no ponto de amostragem. Neste tipo de análise, deve sempre ser tido em conta que uma possível anomalia pode ter várias fontes diferentes dentro da mesma área. Esta técnica permite localizar áreas com teores anómalos, com alta precisão, estimar valores de *background* e analisar o fator de diluição (Carranza, 2009b).

As duas técnicas descritas anteriormente, isto é, a análise de distribuição de pontos e a geração de bacias de drenagem com base em sedimentos de correntes, foram aplicadas no estudo do Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão, dada a existência de diversos dados disponíveis, publicados ao longo dos anos através da cartografia produzida, teses de mestrado e doutoramento, artigos e relatórios (por ex.: Charoy et al., 1992; Noronha, 1992; Noronha et al., 1998; Lima et al., 2003a; Martins, 2009). Para tal, foi necessário o uso de uma base de dados existente, aquisição de novos dados, bem como a sua manipulação, num SIG. Neste caso, o *software* utilizado foi o ArcGIS, versão 10.3.

## V.2 – Aquisição de dados

Na análise estatística espacial não só com vista à prospeção mineira, mas em qualquer outra situação, é de máxima importância a aquisição, análise e integração de dados num SIG de várias áreas da geologia (geoquímica, litologias, dados estruturais, ...) para que seja possível extrair informação espacial sobre esses objetos, de fontes fidedignas, de modo a que os resultados possam ser confiáveis.

Todos os elementos da base de dados devem ter informação espacial associada para que possam ser igualmente projetados e manipulados. Quando são utilizadas cartas geológicas como fonte de informação, estas devem ser primeiramente georreferenciadas, para que todos os dados daí extraídos estejam também eles georreferenciados. Nas cartas geológicas, a informação é digitalizada manualmente, criando-se, deste modo, ficheiros de pontos, linhas ou polígonos, no formato vetorial. A cada objeto digitalizado (litologia, estruturas, filões, linhas de água, explorações mineiras, ...) pode ser conferida simbologia e informação adicional, que poderá ser guardada numa folha de dados. Por outro lado, quando a informação é recolhida no

terreno, a sua localização pode ser dada através da assimilação de dados GPS e consequente incorporação na base de dados já criada no SIG.

Os dados em formato raster são representados por um conjunto de pixéis, que cada um deles representa um valor da variável a estudar. Neste formato, geralmente, engloba-se as fotografias aéreas, imagem de satélite, modelos digitais de terreno (MDT), entre outros mapas de distâncias produzidos num SIG. Estes dados são adquiridos por sensores ou *scanners* e são gerados por cálculo.

Na análise espacial estatística do Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão, descrita no capítulo V.3.1, foram usados diferentes tipos “*layers*”, ou seja, ficheiros de dados. Nesta parte foram utilizados um ficheiro de pontos e outro de linhas, nomeadamente, as antigas explorações de estanho e os aplito-pegmatitos, respetivamente.

### **Explorações de estanho (Sn)**

Esta *layer* foi obtida através da digitalização manual das explorações inativas visíveis nas folhas 6C e 6D, da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000, sob a forma de pontos. No *software*, estes dados foram representados pela simbologia utilizada na representação de minas inativas (figura 16).

Na tabela de atributos associada a este ficheiro de dados, foi inserida a informação do tipo de elemento explorado em cada mina e a unidade litológica em que se insere. Após a digitalização de todas as explorações, foram selecionadas apenas as relativas ao estanho, visto serem estas as usadas posteriormente na análise de dados. As explorações inativas de estanho foram selecionadas em prol de outras existentes, pela sua íntima relação com os filões de aplito-pegmatitos, uma vez que são estas rochas que alojam a mineralização em Sn (Sant'Ovaia et al., 2011).

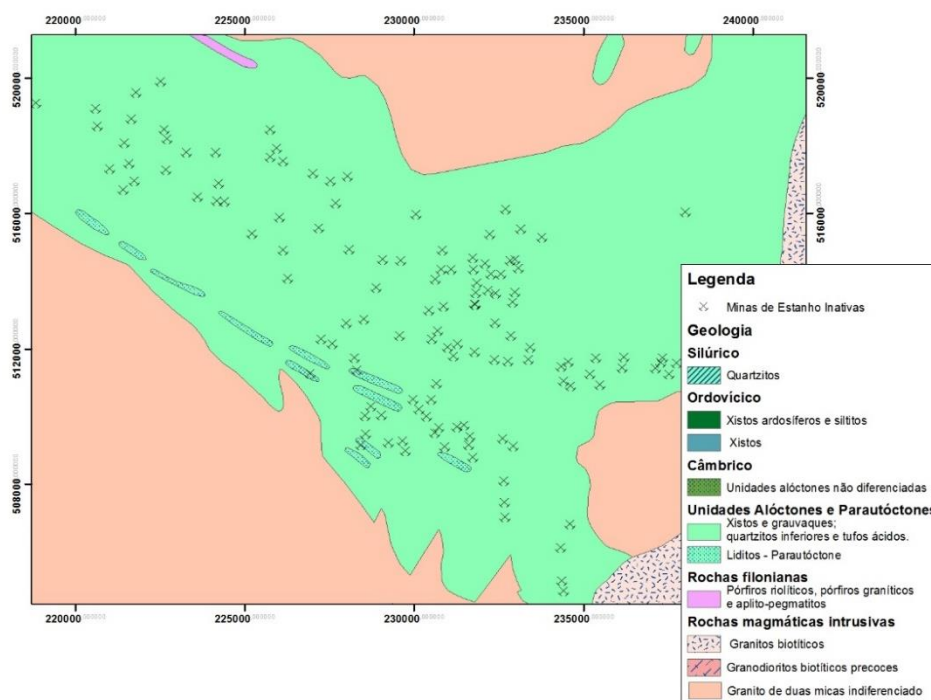


Figura 16 – Localização das explorações de estanho em aplito-pegmatitos, retirada das folhas 6C e 6D, da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Mapa de base: Mapa Geológico de Portugal, 1:5000 000.

## Aplito-pegmatitos

O conteúdo presente nesta *layer* resultou da compilação de vários trabalhos executados ao longo dos anos. Assim, os filões aqui representados derivam da digitalização manual dos aplito-pegmatitos presentes na cartografia 1:50 000 da região (Folhas 6A, 6B, 6C e 6D), mapas publicados (Granitic pegmatites: the state of the art – field trip Guidebook, 2007; Prospeg project – pegmatite remote sensing and mapping), imagens de satélite (Mapa de base fornecido pela ESRI ArcGIS – World Imagery Map), base de dados pessoal disponibilizada pelo professor doutor Alexandre Lima e pelo mestre David Silva.

Todas estas fontes foram consultadas e os seus dados compilados num trabalho anterior (Silva, 2014), tendo sido disponibilizado de modo a ser possível realizar a análise espacial proposta.

O mapa da figura 17 representa todos os aplito-pegmatitos inseridos na base de dados. A tabela de atributos associada a esta *layer* de linhas possui informação sobre orientação, extensão dos filões e coordenadas geográficas, calculados com ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS 10.3, nomeadamente, o *EazyCalculate* (extensão do

programa que permite o cálculo da orientação) e *Calculate Geometry* (ferramenta que permite o calcular o comprimento e as coordenadas X e Y dos filões).

Ao todo, esta base de dados compila 1912 filões.

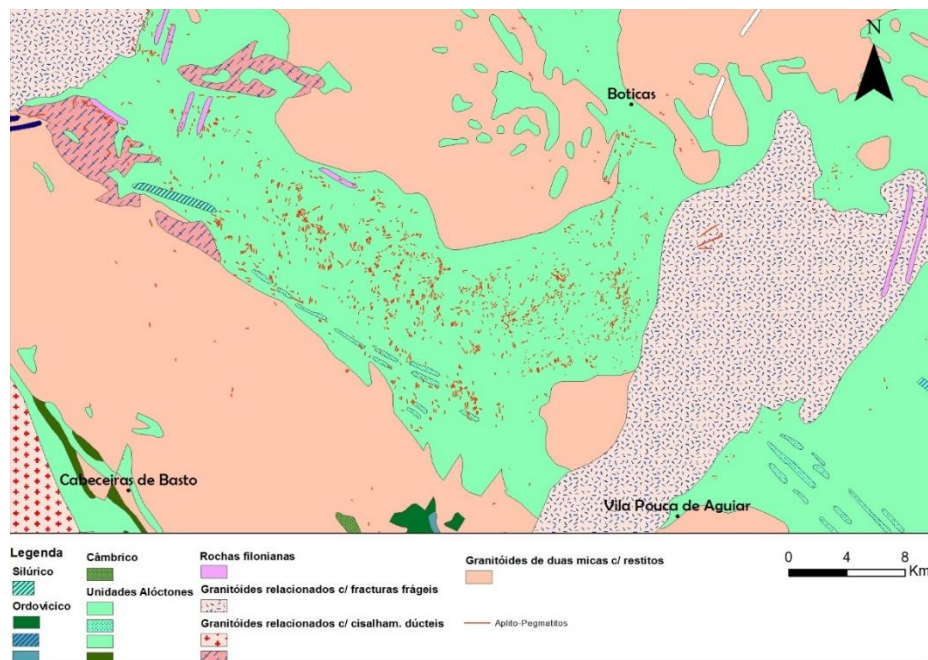


Figura 17 – Distribuição dos filões de aplito-pegmatito do Barroso- Alvão. Geologia de base à escala 1:500 000.

Na elaboração das bacias de drenagem foram utilizadas duas *layers* de base: os sedimentos de corrente e as linhas de água

### Sedimentos de corrente

Os dados geoquímicos resultantes da amostragem de sedimentos de corrente foram inicialmente fornecidos em formato papel. Estes dados resultaram de uma campanha de prospeção geoquímica, com a recolha de 665 amostras de sedimentos de corrente, na região em estudo, com o objetivo de localizar novas ocorrências (Pires, 1995). Os resultados desta campanha foram convertidos para um formato digital, em que a cada amostra correspondem as coordenadas (meridiano e paralelo) e os teores dos elementos (Li, W, Sn, Nb, Ta) associados.

A tabela foi importada para o *software*, sendo os locais de amostragem projetados sob a forma de pontos, tendo por base a geologia da região à escala 1:500 000. O mapa da Figura 18 apresenta a localização geográfica dos pontos de amostragem dos sedimentos de corrente.

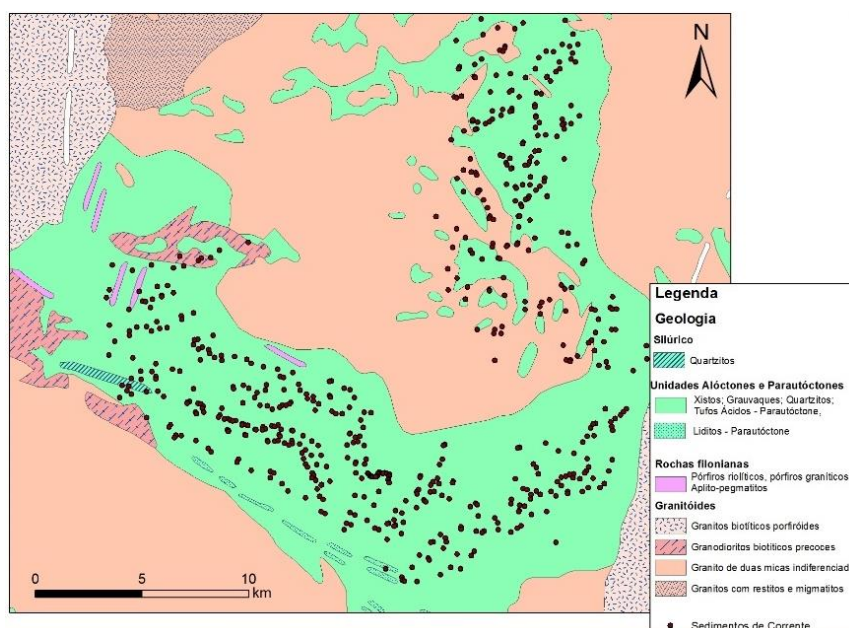


Figura 18 – Distribuição espacial dos locais de amostragem dos sedimentos de corrente, entre o Barroso e o Alvão, sobre o mapa geológico 1:500 000.

## Linhas de água

As linhas de água usadas neste trabalho foram obtidas usando uma imagem raster da direção de fluxo, através da manipulação de algumas ferramentas disponíveis no ArcGIS 10.3.

Para a obtenção das linhas de água da área foi necessário aferir o sentido do fluxo de drenagem. Este pode ser obtido através da ferramenta Direção de Fluxo (*Flow Direction*). Esta ferramenta usa a superfície, por exemplo, através de modelo digital de terreno (MDT), para mostrar a direção do fluxo da corrente de cada célula ou pixel. Neste trabalho, foi usado o mapa de fluxo disponibilizado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), representado na figura 19. Este mapa abrange todo o país, tendo por base um MDT de 25 metros, denominado por Modelo Digital de Escoamento e encontra-se disponível em <http://sniamb.apambiente.pt/>.



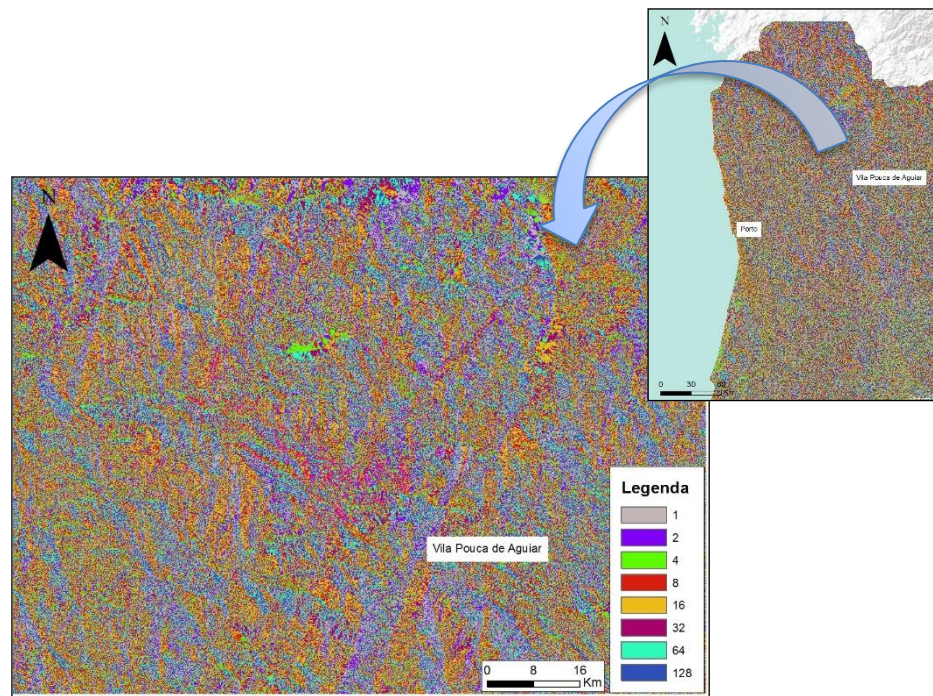


Figura 19 – Modelo digital de escoamento (fornecido pela APA - <http://sniamb.apambiente.pt/>)

De seguida, foi necessário criar um mapa em formato *raster* que contivesse os locais de maior acumulação da rede de drenagem. Para tal, deve ser usada a ferramenta “*Flow Accumulation*”, no menu “*Hydrology*” do “*Spatial Analyst*”, que calcula o fluxo de água acumulado em cada célula, tendo por base o *Modelo de Escoamento Digital* obtido anteriormente. O modelo obtido está representado na figura 20. A cor mais clara representa os locais de menor acumulação, enquanto que os tons mais escuros representam os locais de maior acumulação, evidenciando o que serão as linhas de água.

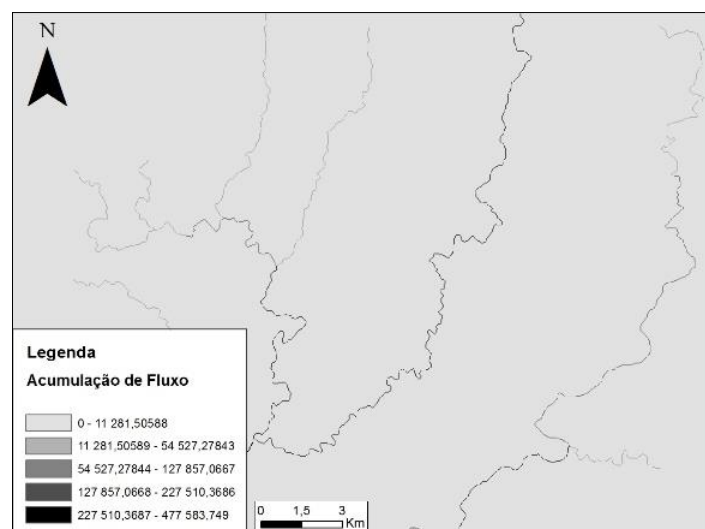


Figura 20 – Modelo de acumulação evidenciando as linhas de água.

Após obtermos o *modelo de acumulação*, é necessário retirar deste apenas os locais de maior acumulação, que correspondem às linhas de água. Para tal, utiliza-se a função *Set Null*. Esta ferramenta seleciona as células com um valor igual ou superior a 70, excluindo todas as outras, ou seja, todos os valores maiores ou iguais a 70 são indicados como verdadeiros, tomando valores de 1, e os restantes como falsos, tomando valores de 0. Deste modo, são obtidas as linhas de água em formato *raster*, apresentadas na figura 21.

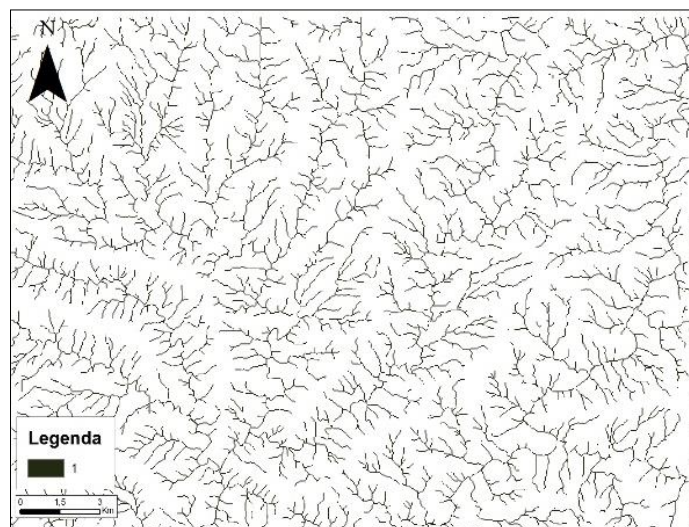


Figura 21 – Linhas de água em formato raster na área de estudo.

A tabela seguinte resume de forma simples e objetiva as *layers* utilizadas na análise espacial de distribuição de pontos, na geração de bacias de drenagem de sedimentos de corrente e as suas fontes:

Tabela 2 – *Layers* usadas, fonte e modo de inserção e tipos de dado gerados no programa ArcGIS 10.3.

Dados ( <i>layers</i> )	Fonte	Tipo de fonte	Inserção de dados no ArcGIS 10.3	Tipo de dados gerados
Sedimentos de corrente	Tabela de dados	Analógica	Digitalização dos dados numa folha de texto	Pontos
		Digital	Importação da folha de dados  Projeção dos dados no SIG	
		Analógica	Digitalização dos mapas	Pontos

<b>Explorações de estanho (Sn) inativas</b>	Mapas – Cartas geológicas 6C e 6D, 1:50 000	Digital	Importação dos mapas Georreferenciação Digitalização das explorações de Sn	
<b>Aplito-pegmatitos</b>	Mapas, teses, artigos, outros trabalhos.	Analógica <hr/> Digital	Base de dados previamente fornecida em formato vetorial	Linhas
<b>Linhas de água</b>	Raster de direção de fluxo (APA)**	Digital	Geração de linhas de água através da ferramenta <i>Hydrology</i>	Linhas
<b>Litologias</b>	Carta geológica de Portugal 1: 500 000	Analógica <hr/> Digital	Dados fornecidos pelo LNEG* em formato vetorial	Polígonos

\* LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

\*\* APA – Associação Portuguesa do Ambiente

## V.3 – Metodologia

### V.3.1 – Relação estatística espacial entre as explorações de estanho e a orientação dos filões aplito-pegmatíticos

Em temas dedicados às geociências, vários são os métodos propostos para a análise espacial de modelos de pontos, nomeadamente a Análise de *Fry* (Fry, 1979) e a Análise Fractal (Carranza, 2009a). Tendo em vista a caracterização e quantificação da distribuição dos aplito-pegmatitos relativamente às antigas explorações de estanho na região, foi usado um método alternativo, denominado por *Distance to Nearest Neighbor* (DNN), tal como realizado no trabalho de Deveaud *et al.* (2013). Este método, primeiramente desenvolvido por Clark e Evans (1954), permite a medição das relações espaciais, podendo ser aplicado em vários ramos científicos, por exemplo, na prospeção mineira (por ex.: Carranza, 2009a), geomorfologia (por ex.: Wilkins e Ford, 2007), planetologia (por ex.: Baloga et al., 2007), análise de sistemas urbanos (por ex.: Eckley e Curtin, 2013), entre outros. No método DNN é usada a distância euclidiana que é calculada entre cada ponto e o seu ponto vizinho mais próximo, obtendo-se desta forma o valor da DNN.



Na análise de pontos é também essencial a análise de distribuição de pontos, com o objetivo de se inferir se é uma distribuição aleatória, agrupada ou regular, como demonstrado anteriormente. A distribuição agrupada ou regular, são as distribuições que melhores resultados apresentam e das quais é possível retirar maior informação, uma vez que a instalação das ocorrências foi controlada por algo (Carranza, 2009b).

Neste trabalho foram então utilizados 906 filões de aplito-pegmatito e 137 pontos de explorações de estanho antigas (figura 22), ambos os ficheiros digitalizados a partir das folhas 6C e 6D, com o objetivo de inferir se estes se encontram espacialmente associados.

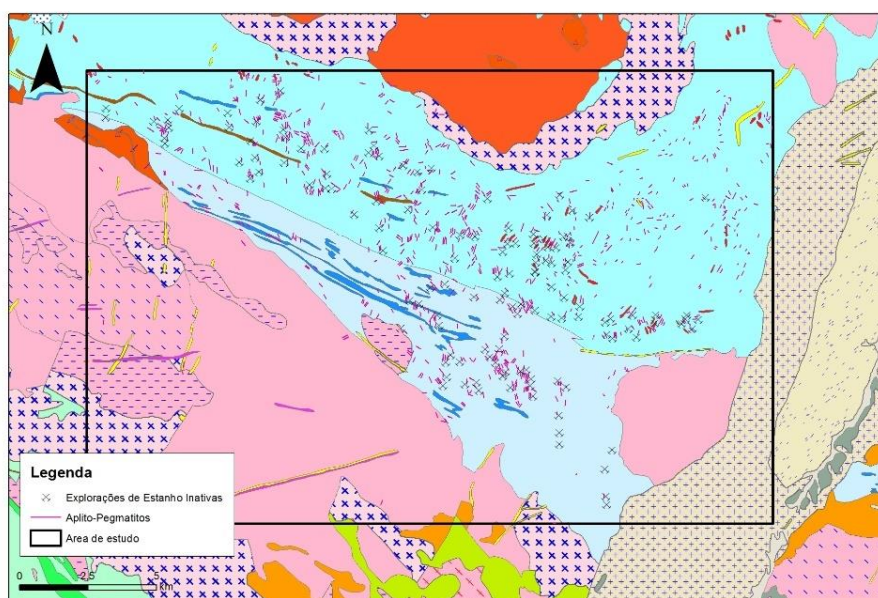


Figura 22 – Delimitação da área usada na análise estatística espacial entre os filões de aplito-pegmatito e as antigas explorações de estanho (1/200 000).

Antes de se efetuar a análise espacial entre explorações e filões, foi realizada a análise de distribuição dos filões de aplito-pegmatito, a qual revelou que estes seguiam uma distribuição agrupada (*clusters*), como mostra a figura 23. Uma distribuição em *clusters* é a distribuição ideal para fazer este tipo de análise espacial (Carranza, 2009b).

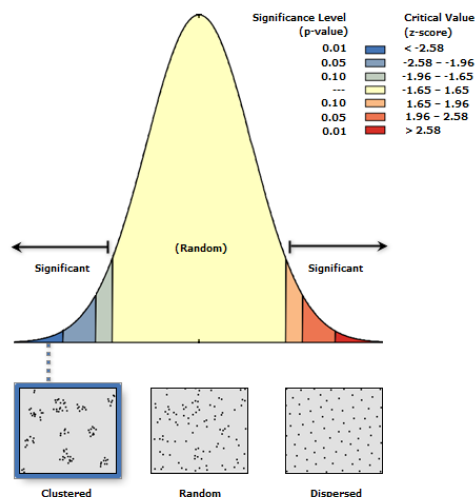


Figura 23 –Análise da distribuição espacial do aplito-pegmatitos do Barroso-Alvão, evidenciando distribuição em *clusters*.

Seguidamente, realizou-se uma análise de distâncias entre todos os aplito-pegmatitos e as explorações de estanho. Neste método, é necessário a utilização de *layers* de pontos e, como referido anterior, os filões encontram-se num ficheiro de linhas, logo, foram convertidos para pontos, tendo sido usado o seu ponto médio.

Para além disso, foi gerada uma rede aleatória de pontos, através da ferramenta *Create Random Points* do software ArcGIS. Esta malha pretende simular localizações aleatórias de explorações de estanho. Assim, a análise de distribuição destes pontos revelou que estes são do tipo *random*, como esperado (figura 24). Deste modo, esta malha serve de base comparativa na análise de distância entre os filões e as explorações de estanho.

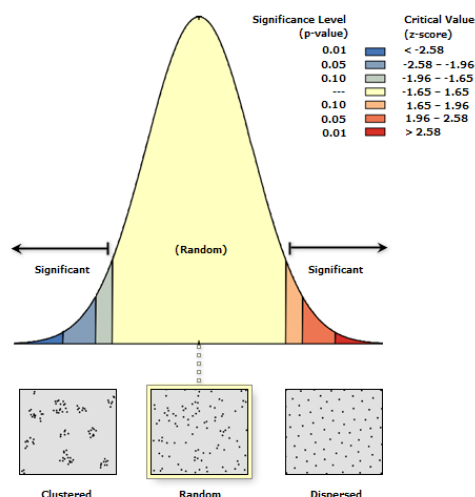


Figura 24 – Análise da distribuição dos pontos de referência. Distribuição do tipo *random*.

Posto isto, realizou-se primeiramente a distância euclidiana utilizando todos os filões de aplito-pegmatito e, posteriormente, estes foram divididos tendo em conta a sua

orientação, ou seja, formando-se 6 classes:  $0^{\circ}$  e  $30^{\circ}$ ;  $31^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ ;  $61^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ ;  $91^{\circ}$  a  $120^{\circ}$ ;  $121^{\circ}$  a  $150^{\circ}$ ; e  $151^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ . Foi repetido o processo anterior, obtendo-se um mapa de distâncias euclidianas para todas as classes, para se verificar qual a orientação preferencial espacialmente associada às explorações de estanho.

Finalmente, foram extraídos os valores de distância das explorações de estanho e da malha de pontos de referência. Ou seja, a cada exploração, bem como a cada ponto da malha, foi retirado o valor de distância do filão mais próximo. Inicialmente foram retirados os valores das distâncias tendo em conta todos os filões, seguindo-se a extração para cada uma das classes de aplito-pegmatitos, anteriormente referidas. Os resultados são apresentados sob a forma de gráficos de barras, comparando-se a distribuição amostrada (explorações de estanho) e a distribuição de referência (pontos aleatórios).

### V.3.1.1 – Apresentação e Análise dos Resultados

A análise dos resultados obtidos foi realizada seguindo a metodologia proposta por Deveaud *et al.* (2013). No referido trabalho foram definidas três classes tendo por base a razão ( $a$ ) entre a distribuição amostrada (explorações de estanho) e a distribuição de referência (pontos aleatórios):  $a^1 < 1,2$ ;  $1,2 < a < 1,5$  e  $a > 1,5$ .

Na primeira classe, a razão obtida é inferior a 1,2. Deste modo, a diferença entre a percentagem da distribuição amostrada e a distribuição de referência é inferior a 20%. Esta situação é denominada por distribuição normal, considerando-se que ambas as distribuições (amostrada e referência) são semelhantes, ou seja, não existe relação espacial.

A segunda classe apresenta uma razão que oscila entre 1,2 e 1,5. Aqui, a diferença entre a distribuição amostrada e de referência varia entre 20% e 50%. Neste caso, considera-se que existe uma distribuição anormal moderada, estando os objetos em análise espacialmente associados.

A terceira e última classe apresenta uma razão superior a 1,5. Assim, a diferença entre a distribuição amostrada e de referência é superior a 50%. Nesta situação refere-se a objetos altamente associados espacialmente, sendo esta distribuição denominada por distribuição anormal elevada.

---

<sup>1</sup> Razão hipotética.

Para que a comparação entre todos os gráficos fosse facilitada, a escala das distâncias é igual, sendo discriminados intervalos de 250 m até a uma distância de 5000 m. A partir deste limite, os dados de distância superiores são agrupados no intervalo “Mais”.

## Resultados

As distâncias calculadas entre todas as ocorrências de aplito-pegmatito e as explorações antigas de estanho variaram entre 0 e os 1540 m na distribuição de frequência das explorações, enquanto a distribuição de referência varia entre 0 e 6417 metros. No gráfico da figura 25 é possível observar que, no primeiro intervalo, [0 a 250 m], a distribuição das explorações de estanho possui um valor superior (94,16%) ao da referência (26,47%). A razão neste intervalo corresponde a 3,56. Então, este resultado permite concluir que até aos 250 metros existe uma relação espacial entre explorações de estanho e aplito-pegmatitos. Enquanto que, a partir dos 250 metros, observa-se uma distribuição normal, na qual a barra da referência é superior à barra relativa às explorações.

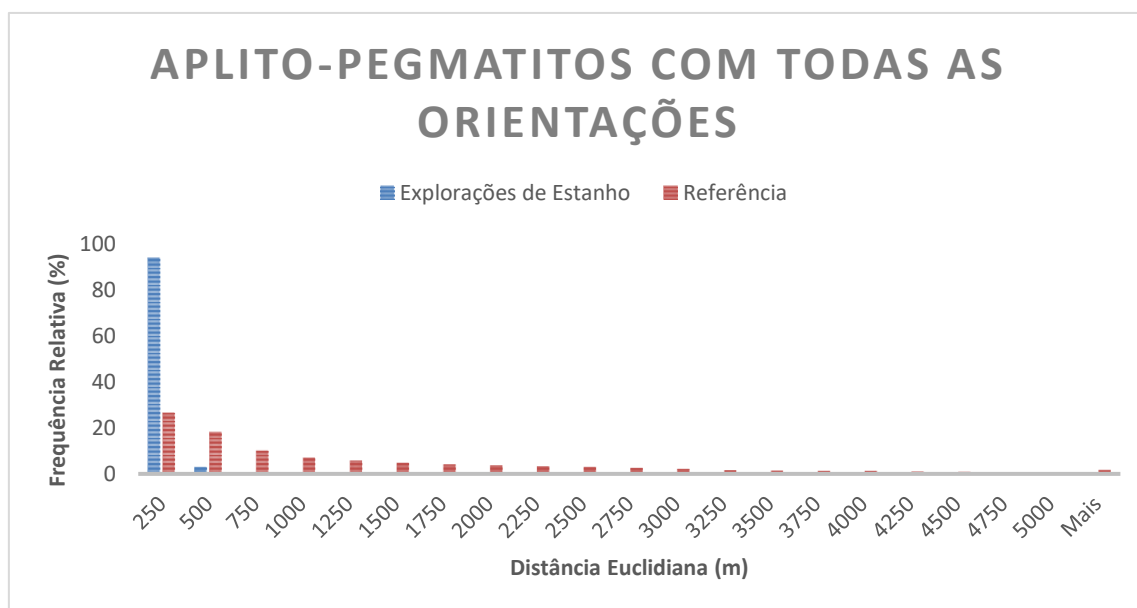


Figura 25 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e todos os filões e a distribuição de referência e todos os filões.

De modo a inferir-se quais as direções associadas às explorações de estanho, foi feito, como referido anteriormente, uma divisão em classes do intervalo 0° a 180°, criando-se assim 6 grupos de 30°.

## Grupo A

Na análise de distâncias entre os aplito-pegmatitos com orientações entre  $0^{\circ}$  e  $30^{\circ}$  e as explorações antigas de estanho, verificou-se que a distribuição das explorações varia entre os 57 e 4002 m e de 2 a 7912 m para a distribuição de referência. A análise dos valores de distâncias (figura 26) demonstra que 42,34% das explorações de estanho encontram-se a uma distância igual ou inferior a 250 metros de um filão com uma orientação compreendida entre  $0^{\circ}$  e  $30^{\circ}$ , enquanto que para a distribuição de referência, o mesmo intervalo inclui apenas 7,26% dos seus pontos. Nesta classe, a razão é de 5,83. Na classe seguinte, [250 a 500 m [, verifica-se também que a barra das explorações de estanho se sobrepõe à da referência, apresentando valores de 22,63% e 12,70%, respetivamente. Neste caso, temos uma razão de 1,78. Também no intervalo de [500 e 750 m [ é verificada uma relação, com uma razão de 1,2. Embora estes dois últimos intervalos apresentem percentagens mais baixas, conclui-se que existe uma relação espacial entre explorações de estanho e aplito-pegmatitos com orientação entre os  $0^{\circ}$  e os  $30^{\circ}$  até aos 750 metros, havendo uma concentração de 80% dos aplito-pegmatitos até esta classe. A cima dos 750 metros, observa-se uma distribuição normal, cuja frequência relativa dos pontos da malha de referência é igual ou superior aos pontos das explorações de estanho.

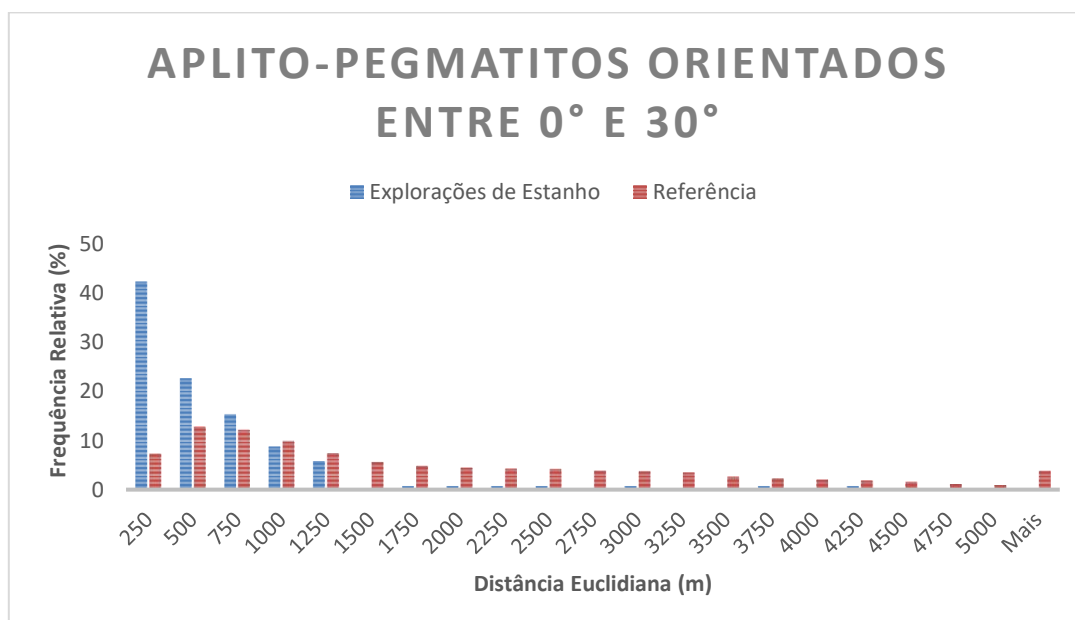


Figura 26 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação  $N0^{\circ}$  a  $N30^{\circ}$ .

### Grupo B

Relativamente às ocorrências de aplito-pegmatito com orientações entre os  $31^\circ$  e os  $60^\circ$ , os valores de distâncias obtidos variam entre 31 e 2057 m, para as explorações de estanho e distâncias de 103 a 10525 m para a distribuição de referência. A análise dos valores de distâncias (figura 27) demonstra que existe uma relação espacial até aos 1000 metros entre os aplito-pegmatitos e as explorações. O primeiro intervalo inclui 23,36% das explorações de estanho e 5,51% dos pontos da referência, perfazendo uma razão de 4,24. O segundo intervalo, [250 a 500 m], observam-se 20,44% das explorações e 11,45% dos pontos da referência, com uma razão de 1,80. Seguidamente, 18,25% das explorações encontram-se entre os 500 e os 750 m, contra os 11,45% da referência, com uma razão de 1,59. Dos 750 aos 1000 m, as explorações apresentam uma frequência de 13,87% e a referência apresenta um valor de 6,68%, com uma razão de 1,31. A partir do 1000 metros, a relação espacial não se verifica, sendo as razões seguinte sempre inferiores a 1,2.

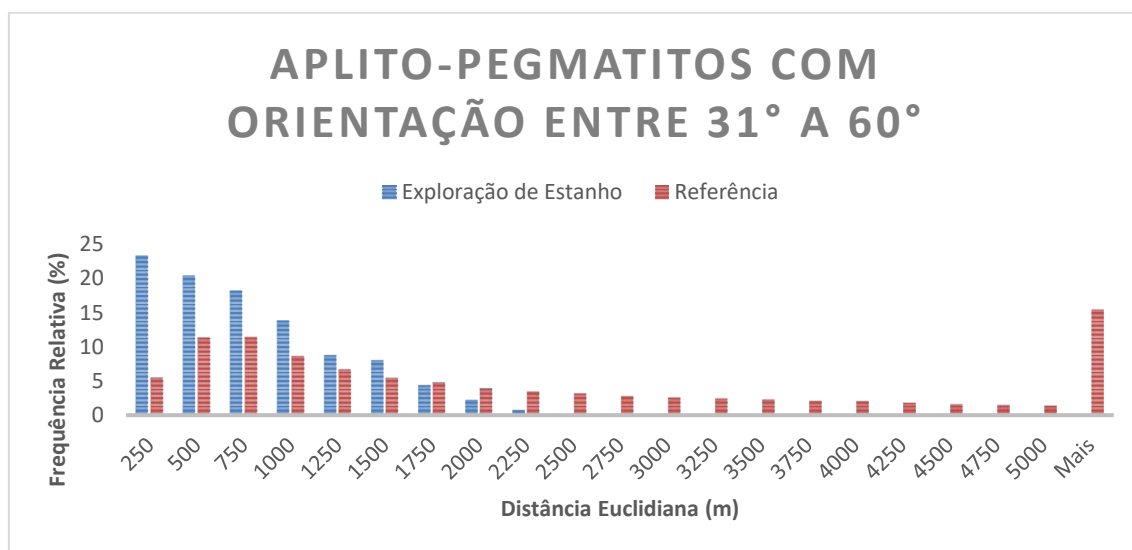


Figura 27 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação  $N31^\circ$  a  $N60^\circ$ .

### Grupo C

Quanto aos filões de aplito-pegmatito com orientações entre os  $61^\circ$  e os  $90^\circ$ , obtiveram-se valores de distância que variam entre 55 e 5235m para as explorações de estanho e 158 e 8192m para a distribuição de referência. A análise dos valores de distâncias (figura 28) demonstra que apenas cerca de 7% das explorações de estanho encontram-se a uma distância igual ou inferior a 250 metros de um filão com esta

orientação. Os intervalos seguintes apresentam também valores baixos. Apesar da barra das explorações se sobrepor à da referência, isto não significa que este tipo de filão esteja espacialmente associado às explorações, visto as suas percentagens em cada intervalo de distância serem muito baixas (inferiores a 9%).

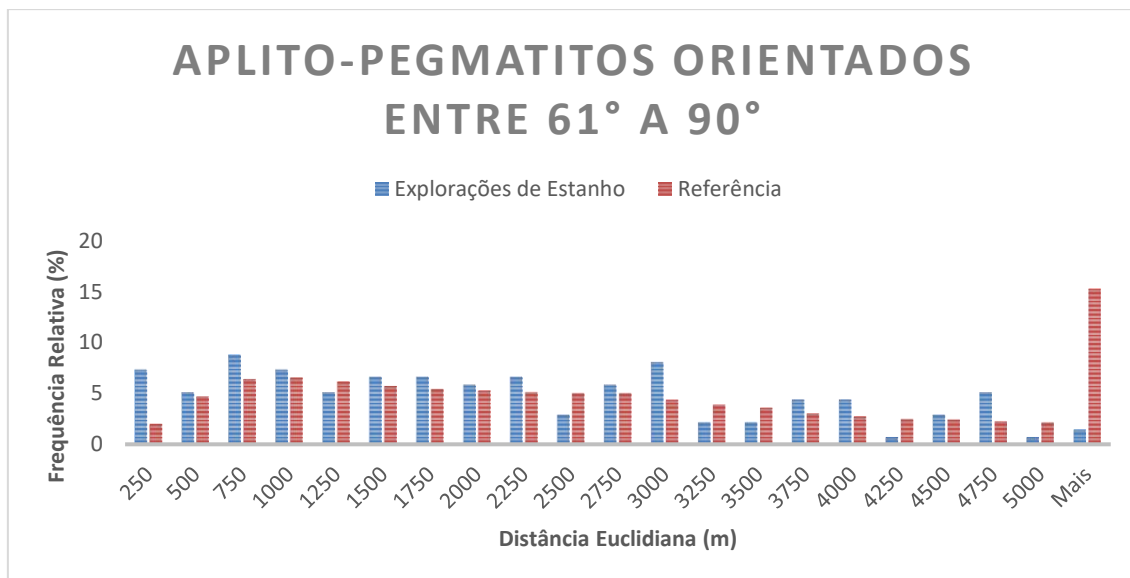


Figura 28 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N61° a N90°

## Grupo D

A análise de distâncias entre os aplito-pegmatitos com orientações entre os 91° e os 120° e as explorações de estanho e a malha de referência, demonstra que, para as explorações de estanho, as distâncias estão compreendidas entre 100 m e 3393 m. Por outro lado, para a malha de referência, as distâncias apresentam uma maior amplitude, variando entre 35 m e 9638 m. A análise do gráfico (figura 29) demonstra que no primeiro intervalo, [0 a 250 m] apenas estão localizadas 6% das explorações. À semelhança do grupo anterior, também aqui existe uma distribuição relativamente uniforme, quando comparada com outros grupos (por exemplo, o grupo A ou B). Deste modo, devido às baixas percentagens existentes nas classes de distâncias iniciais, considera-se que este grupo de filões não se encontra espacialmente associado às explorações de estanho.

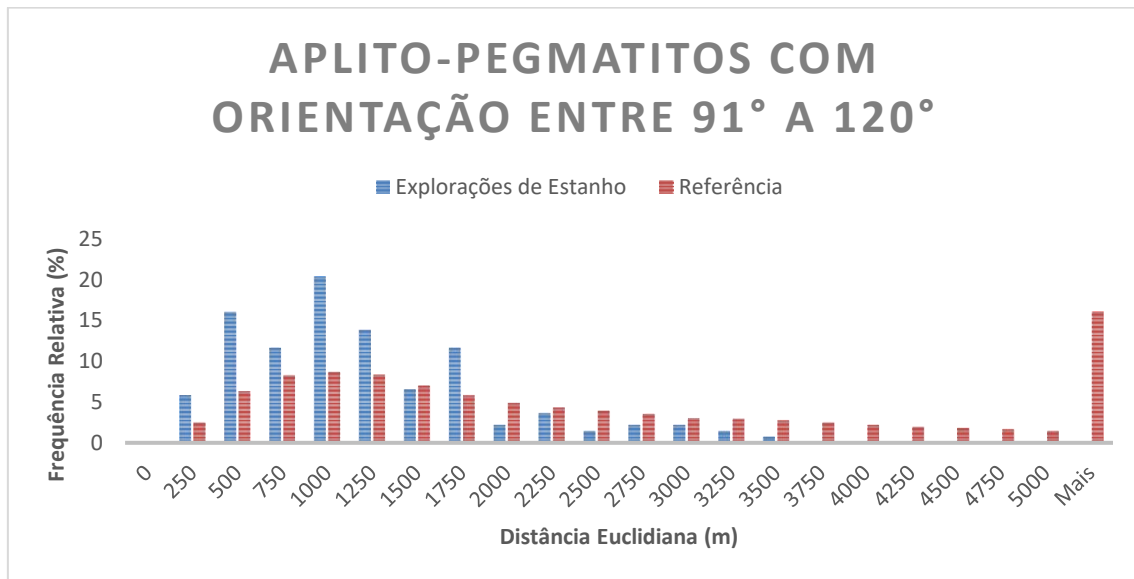


Figura 29 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N91° a N120°.

### Grupo E

Quanto aos aplito-pegmatitos com orientações entre os 121° e os 150°, os valores de distâncias obtidos variam entre 42 e 2716 m, para as explorações de estanho e distâncias de 2 a 9894 m para a distribuição de referência. A análise dos valores de distâncias da figura 30 demonstra que cerca de 29% dos filões encontram-se a uma distância igual ou inferior a 250 metros de um filão com esta orientação, enquanto que para a malha de referência apenas se observam 6,12%, indicando uma razão de 4,77. Na classe seguinte, [250 a 500 m [, a distribuição amostrada apresenta uma percentagem de 21,17% contra os 12,69% apresentados pela distribuição de referência, tendo uma razão de 1,66. A cima dos 750 metros, a distribuição passa de anormal moderada para normal. Portanto, até aos 750 metros, existe uma distribuição de 67,88% das explorações de estanho, enquanto que para a distribuição aleatória de pontos no terreno verifica-se apenas 31%, logo pode-se dizer que existe uma relação espacial entre explorações de estanho e filões de aplito-pegmatito com a orientação entre 121° e os 150°.



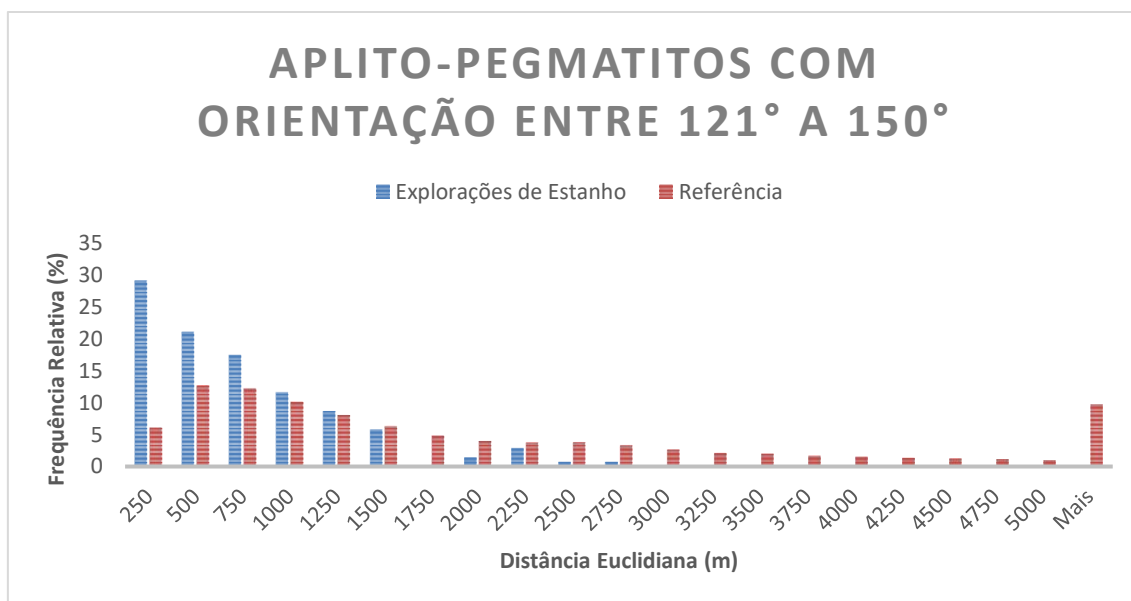


Figura 30 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N121° a N150°.

## Grupo F

Por último, a análise entre a relação espacial dos filões de aplito-pegmatito com orientações entre os 151° e os 180° e as explorações de estanho, bem como a malha de referência, demonstra que os valores de distância variam entre 33m e 1989m para as explorações estaníferas e 0,5 e 6673 m para a distribuição de referência. A análise dos valores de distâncias da figura 31 demonstra que na primeira classe, [0 a 250 m [, encontram-se cerca de 45% das explorações de estanho, enquanto que apenas estão presentes 7,32% dos pontos da distribuição de referência. Neste intervalo, a razão obtida foi de 6,18. No intervalo seguinte, [250-500[, verifica-se uma frequência de 28,5% para as explorações de estanho e 13,16%, com uma razão de 2,16. Até aos 500 metros, estão distribuídos cerca de 74%, existindo apenas 20% dos pontos aleatórios até esta distância. Como tal, diz-se que existe uma distribuição anormal elevada, pelo que é possível afirmar que existe uma relação espacial entre as explorações de estanho e os pegmatitos com a referida orientação. A partir dos 500 metros verifica-se uma distribuição normal.

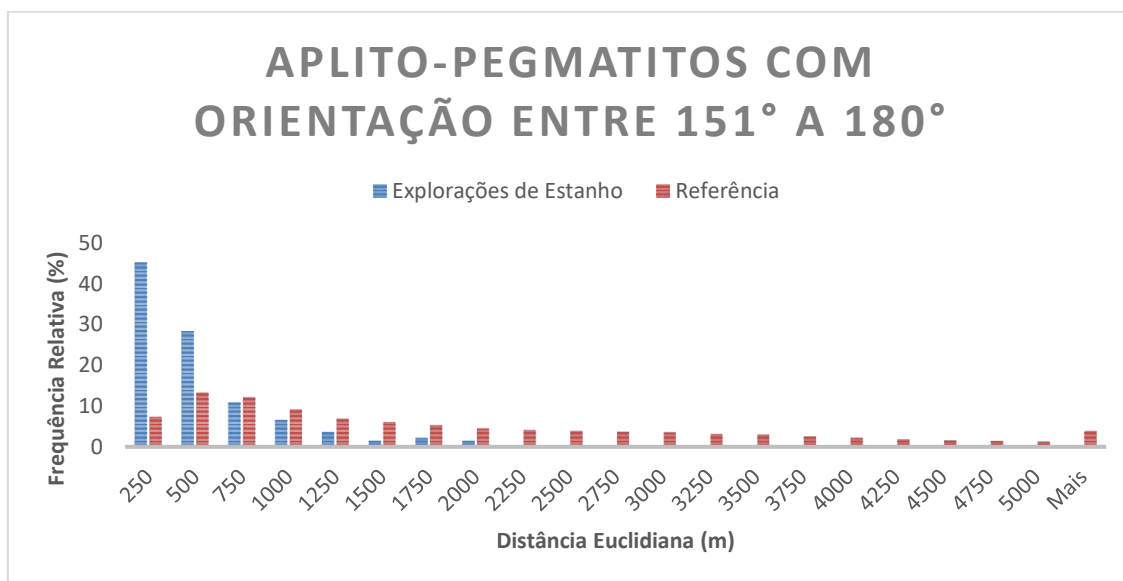


Figura 31 – Gráfico representativo das distâncias entre as explorações de estanho e a distribuição de referência aos filões com orientação N151° a N180°.

Considerou-se que estão espacialmente associados os filões cujas percentagens da distribuição das explorações estaníferas são iguais ou superiores a 20%. Então, conclui-se que de um modo geral os aplito-pegmatitos estão associados às explorações, como é possível observar no gráfico relativo a todas as ocorrências. Posteriormente, na análise de grupos, verificou-se que o Grupo A (0° a 30°) e o Grupo F (151° a 180°) são os que melhor relação apresentam, podendo afirmar-se que as explorações estão relacionadas com filões com estas orientações. Há ainda a referir o grupo B (31° a 60°) e o grupo E (121° a 150°) que, em menor escala, também apresenta uma relação espacial com explorações de estanho.

Visto que, espacialmente, as explorações de estanho estão relacionadas com filões N0° a N30° e N150° a N180° e, tendo em conta que as antigas explorações correspondem elas próprias ao desmonte de filões de aplito-pegmatito, selecionaram-se os filões da base de dados com as referidas orientações e com a indicação do mineral litinífero presente, com o objetivo de se perceber se existe alguma ligação entre a orientação dos filões e a mineralogia.

Com esta orientação, existem 452 filões e 6 deles são de petalite e 1 de espodumena (resultante da alteração isoquímica da petalite). No entanto, serão necessários mais dados relativos à mineralogia dos filões com estas orientações para que se possam retirar conclusões no que respeita a esta matéria.

### V.3.2 – Geração de Bacias

Neste processo, é de suma importância a manipulação das ferramentas de análise da superfície e das suas características hidrológicas.

Através do programa *ArcGIS* 10.3 é possível a geração de bacias de drenagem a partir de pontos de onde foram colhidas amostras de sedimentos de corrente e de linhas de água. Para a criação dessas mesmas bacias é necessário seguir um conjunto de passos neste programa para que o resultado seja fiável.

Então, o processo inicia-se pela projeção dos pontos (658 pontos) que representam os sedimentos de corrente (formato vetorial) e as linhas de água (formato raster). Verificou-se que grande parte dos pontos se encontravam bastante deslocados das linhas de água em que foram colhidos. Deste modo, todos os pontos que não se encontravam por cima das linhas de água foram manualmente corrigidos e colocados no respetivo lugar.

Como referido anteriormente, as linhas de água encontram-se em formato *raster* e os seus pontos sobrepostos em formato *vetorial*. Assim, para ser efetuada uma análise conjunta dos dados e para que se garantisse que cada ponto correspondia a 1 pixel da linha de água, foi necessária a conversão dos pontos vetoriais para o formato *raster*, diminuindo assim qualquer erro remanescente provindo da correção manual dos pontos (figura 32). Esta primeira etapa revelou-se um pouco morosa, pois todos os pontos foram verificados para eliminar qualquer erro existente.

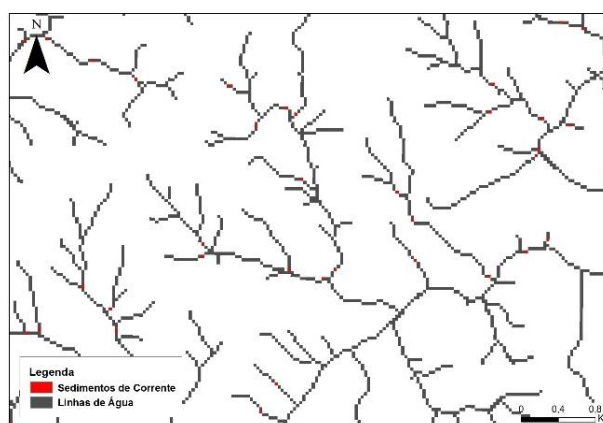


Figura 32 – Sedimentos de corrente sobrepostos às linhas de água (formato raster).

Estando, por fim, todos os dados reunidos, prosseguiu-se para a criação das bacias. Para tal, foi usada a ferramenta *Watershed* do menu *Hydrology* presente

também no *Spatial Analyst*. Esta ferramenta usa o ficheiro raster com a informação da direção do fluxo – Modelo Digital de Escoamento (figura 19) e os pontos relativos aos locais para onde a água é drenada. Neste caso, os pontos usados foram os sedimentos de corrente, para que fosse possível delimitar automaticamente a área que contribui para a obtenção dos teores geoquímicos daquela amostra. Obtém-se assim as bacias em formato raster. No entanto, para que fosse possível colocar a informação geoquímica de cada ponto de amostragem na respetiva bacia, estas foram convertidas para o formato vetorial, sob a forma de polígonos.

Todavia, desta transformação surgiram erros, nomeadamente, a criação de pequenas bacias com o tamanho de 1 pixel. Este erro deu-se em situações como a da figura 33a. Então, para a correção destas situações, recorreu-se à ferramenta *Dissolve* do menu *Geoprocessing*, para que as pequenas bacias criadas fossem incorporadas nos polígonos a que pertenciam inicialmente. E, para garantir que essa incorporação era efetuada com o polígono correto, na referida ferramenta foi indicado que a dissolução seria entre polígonos com o mesmo código, presente na tabela e atributos. Deste modo, as bacias encontram-se totalmente corrigidas (figura 33b)

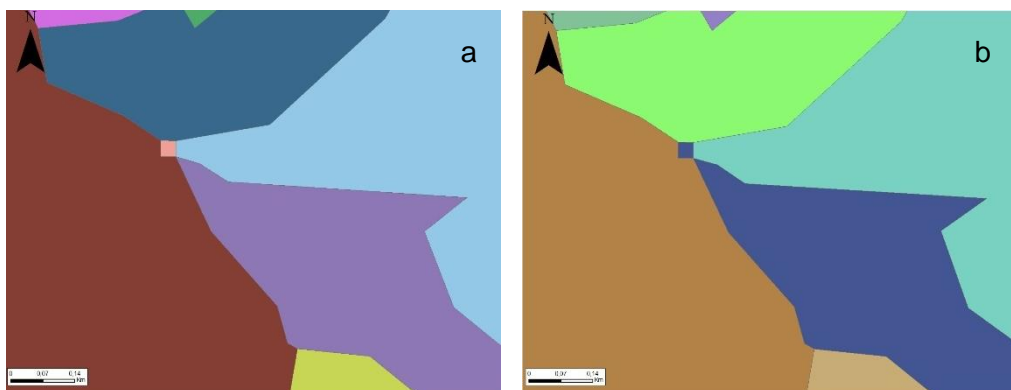


Figura 33 – Criação de bacias com o tamanho de 1 pixel, resultante da transformação raster para vetorial em a e sua resolução em b, evidenciando que o pixel rosa adquire a cor da bacia a que pertencia.

Com o objetivo de atribuir a informação geoquímica de cada amostra à respetiva bacia, foi necessário converter novamente os pontos para o formato vetorial, para garantir que o novo ponto criado ficasse localizado no centro do pixel que lhe deu origem e associar-lhe novamente a tabela de atributos perdida aquando da sua passagem para o formato *raster*. Este último processo foi efetuado através da ferramenta “*Spatial Join*”, que serve para juntar tabelas de atributos tendo em conta a localização dos objetos a tratar.

Depois de se obter os pontos amostrados e as bacias em formato vetorial, foi possível passar a informação geoquímica dos sedimentos amostrados para a respetiva

bacia. Para o efeito, foi usada a mesma ferramenta usada anteriormente, o *Spatial Join*. Deste modo, obtemos bacias com informação geoquímica correspondente à amostra que lhe deu origem (figura 34).

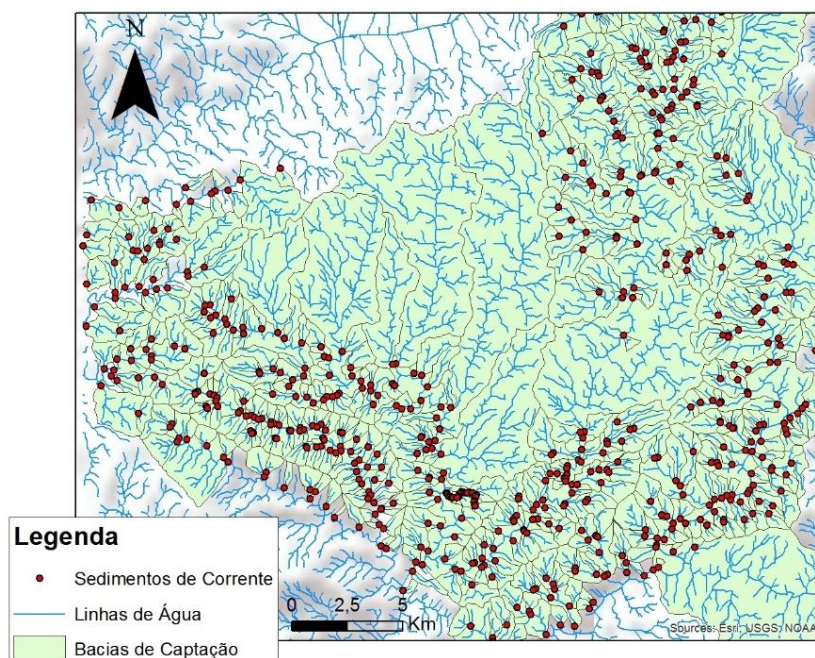


Figura 34 – bacias de drenagem geradas na área de estudo, com os sedimentos de corrente sobrepostos às linhas de água.

As bacias geradas apresentam tamanhos variados, sendo algumas delas de grandes dimensões. Estas não foram tidas em conta aquando da análise por elemento químico, uma vez que foram criadas a partir de pontos de controlo retirados no seio de grandes linhas de água, cuja área de influência é elevada.

### V.3.2.1 – Apresentação e Análise de Resultados

Por último, foi feita uma análise espacial com o intuito de se assinalar as bacias com potencial económico. Tendo por base uma análise estatística em percentis (Tabela 3), o valor de fundo regional para o lítio corresponde a 99 ppm e 0,5 ppm para o estanho (Sn), tendo em conta o percentil 50%. O limiar da anomalia para o lítio não ultrapassa o 157 ppm e para o estanho os 25 ppm, utilizando o percentil 84%. Por último, o percentil 97,5 % representa o valor da anomalia, no qual temos 273,15 ppm para o lítio e 465,75 ppm para o estanho. No entanto, tendo em conta a crescente procura ao lítio, análise será efetuada a partir do valor de fundo regional, de modo a não serem perdidos filões potencialmente mineralizados.

Tabela 3 – Teores correspondentes aos percentis 50% (Fundo regional), 75%, 84% (Limiar da anomalia), 90%, 95%, 97,5% (Anomalia). Percentis usados de acordo com Pires (1995)

Percentil (%)	Lítio (ppm)	Estanho (ppm)
50	99	0,5
75	134,25	10
84	156,56	25
90	188,2	90,4
95	230,3	300
97,5	273,15	465,75

A figura seguinte apresenta as bacias de drenagem com os valores de lítio e estanho associados. Como referido anteriormente, as bacias de grandes dimensões (>1,5 km<sup>2</sup>) foram eliminadas devido ao facto de refletirem dados de pontos recolhidos em grandes linhas de água, sendo estes pontos de controlo, e também por não ser conhecido o fator de diluição de cada bacia gerada.

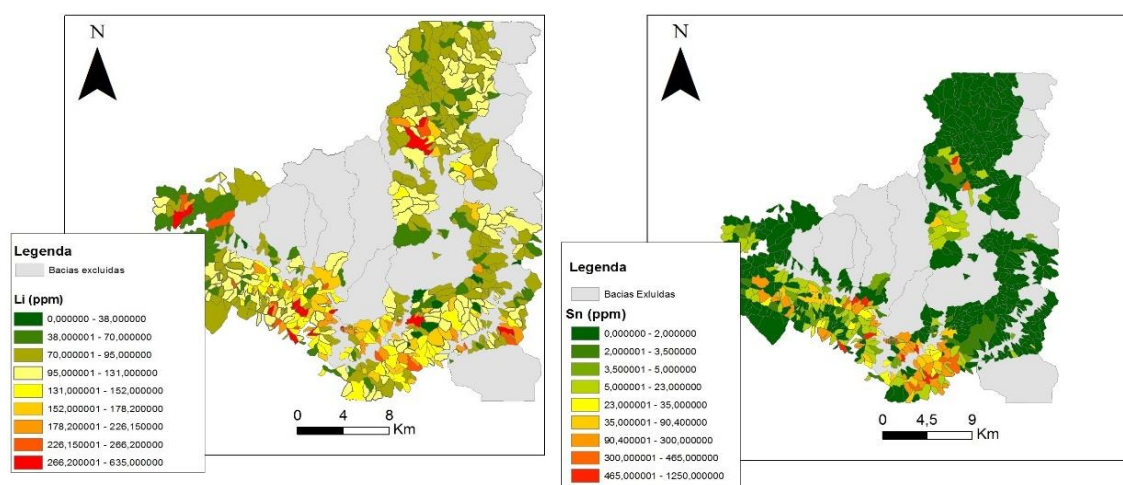


Figura 35 - Bacias de drenagem com teores de lítio (à esquerda) e estanho (à direita).

Nesta análise foram localizadas 318 bacias com teores superiores a 99 ppm de lítio e 191 locais com teores superiores dos 0,5 ppm de estanho, tendo em conta o percentil 50%, que indica o valor do fundo regional.

De salientar que algumas das bacias com elevados teores de lítio (a vermelho) encontram-se já concessionadas a diferentes empresas. Recentemente, o local



correspondente à bacia com elevados teores de lítio, na parte mais a norte da área de estudo, foi concessionado a uma empresa e tem sido alvo de prospeção, revelando altas percentagens de  $\text{Li}_2\text{O}$ , cuja fonte corresponde a filões de petalite.

Posteriormente, foi feito um cruzamento entre as bacias com elevados teores em lítio e os aplito-pegmatitos da base de dados, alguns deles com informação quanto à sua mineralização. Verificou-se que os filões mineralizados se encontravam em bacias com elevados teores de lítio. A figura 36 é um dos exemplos desta situação, demonstrando uma bacia anómala em lítio, apresentando no seu seio, no mínimo, um filão de espodumena.

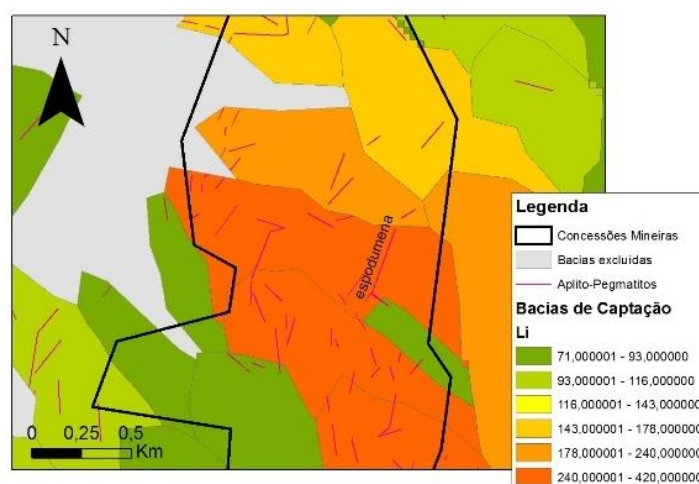


Figura 36 – Bacias com anomalias em Li e os filões de aplito-pegmatito. Evidência de um filão de espodumena na concessão de Adagoi.

Efetuuou-se também a relação entre os filões mineralizados e bacias anómalas em estanho (figura 37). Verificou-se que na maioria dos casos, as bacias com elevados teores em estanho possuem filões de petalite, existindo também casos cujo mineral mais abundante é a espodumena, sendo neste caso resultado da alteração isoquímica da petalite para espodumena + quartzo.

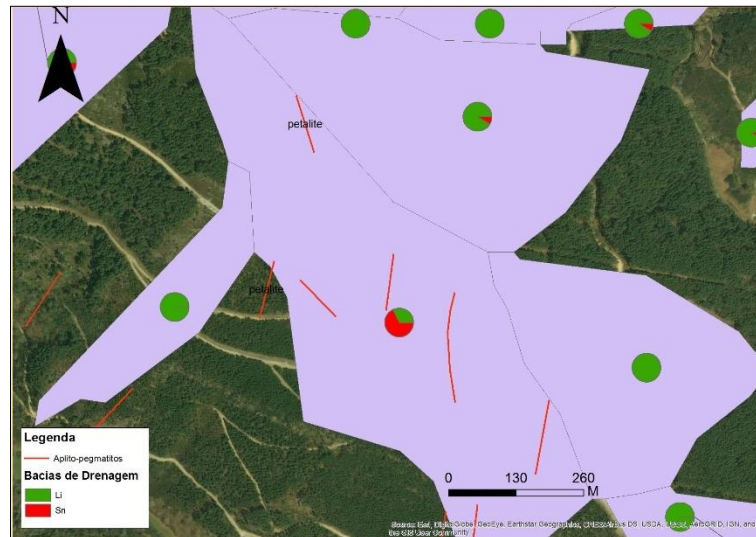


Figura 37 –Exemplo de uma bacia rica em estanho (1250 ppm) e lítio (600ppm) com pelo menos um filão de petalite.

Em casos cuja anomalia não era ainda conhecida, foi feita uma validação no para se inferir a possível existência de um ou mais filões mineralizados.

### Validação de campo

Selecionaram-se duas bacias de drenagem para a sua prospeção. Ambas as bacias estão localizadas no concelho de Ribeira de Pena (figura 38).

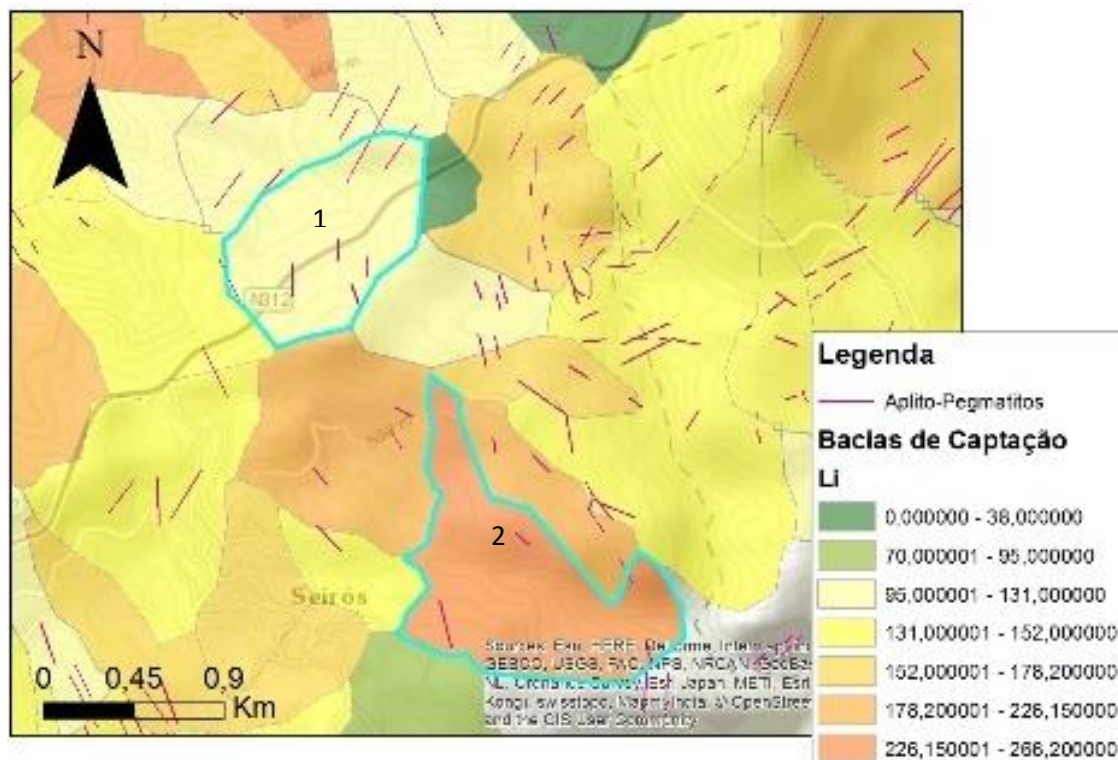


Figura 38 – Bacias selecionadas para a validação de campo.



A primeira bacia (1), com 0,386 km<sup>2</sup>, apresenta uma anomalia de 103 ppm de lítio e 24 ppm de estanho. Esta é atravessada pela nacional 312, o que facilitou o seu acesso.

Foram localizados dois filões bastante alterados. No primeiro filão estão evidenciados alguns cristais de petalite (figura 39a). No segundo não são visíveis minerais litiníferos, dado o seu estado de elevada alteração. Em ambos os filões não foi possível medir a orientação.

Nestes filões foram recolhidas amostras para a realização de lâminas delgadas para análise petrográfica. No estudo macroscópico e microscópico das amostras, foram identificados cristais de petalite no primeiro filão (figura 39 b e c). No segundo não foi possível essa identificação, visto não existirem relíquias nas lâminas delgadas, devido ao elevado estado de alteração do filão.

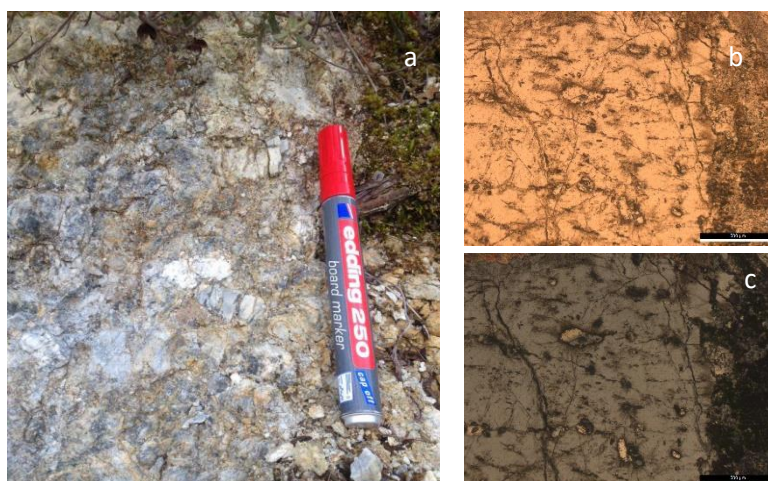


Figura 39 – Afloramento do filão nº1 da Bacia 1, com evidência para os cristais de petalite (a). Petalite em nicóis paralelos (b) e cruzados (c) do mesmo filão.

Nesta bacia foram também encontradas antigas explorações mineiras de estanho, que poderão causar a anomalia desse elemento (figura 40).



Figura 40 – Antiga exploração de estanho, Ribeira de Pena.

A segunda bacia (2), com uma área de 0,538 km<sup>2</sup>, apresenta uma anomalia de 250 ppm de lítio e 175 ppm de estanho.

No reconhecimento do local, foi encontrada uma antiga exploração mineira, cujo filão não foi totalmente desmontado, sendo deixada a porção menos alterada. Neste filão foram identificados cristais de espodumena de dimensões variáveis (figura 41). O contacto entre o filão e o encaixante corresponde a aproximadamente N160°.

Para além da espodumena, é possível observar grandes cristais de quartzo, moscovite e feldspato. Em determinados locais, aparece um mineral esverdeado, que poderá ser cookeite, mineral de alteração da espodumena.



Figura 41 – Cristais de espodumena no filão da Bacia 2.



## **Capítulo VI**

**Caracterização dos Aplito-Pegmatitos com espodumena do  
Barroso-Alvão**





No decorrer do trabalho de pesquisa bibliográfica e de campo, constatou-se a possível existência de três tipos de filões tendo em conta as suas associações mineralógicas dominantes, isto é, filões com espodumena dominante, petalite dominante e, por último, filões com petalite e espodumena. Nesta dissertação apenas serão referidos os filões que apresentam a espodumena como fase mineral dominante e filões mineralizados em espodumena e petalite.

Os filões selecionados para o estudo de campo e petrográfico denominam-se por: Alijó (espodumena), Barroso (espodumena) e Adagoi (espodumena e petalite) (figura 42).

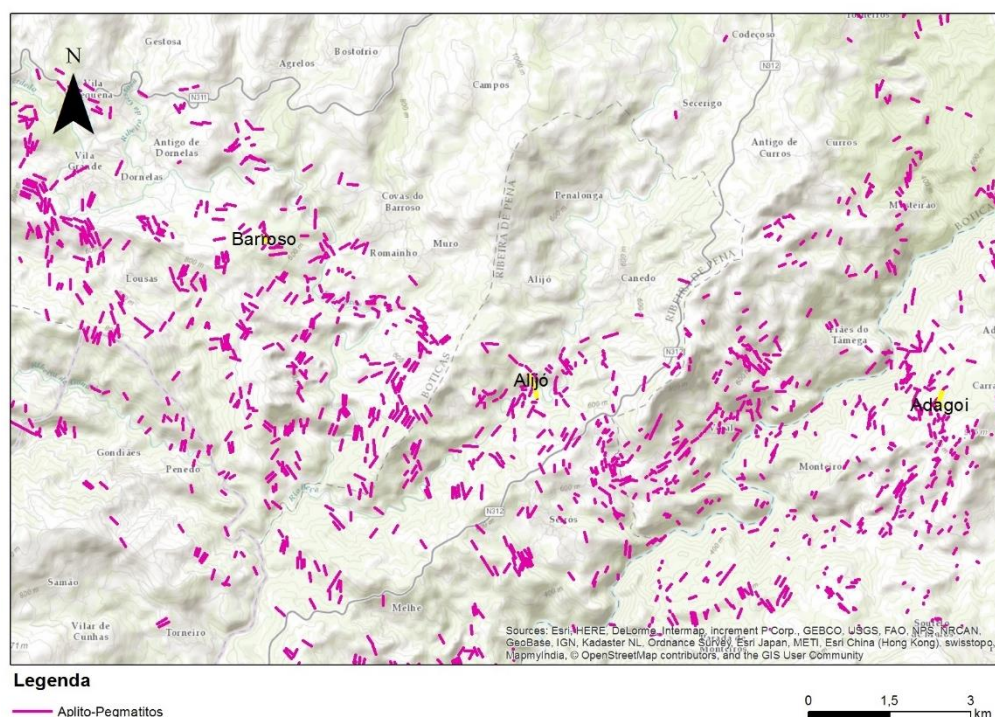


Figura 42 – Localização dos filões Barroso, Alijó e Adagoi.

## VI.1 -Filão de Alijó

### VI.1.1. – Trabalho de campo

O filão de Alijó (figura 43), atualmente concessionado à empresa José Aldeia Lagoa e Filhos, S.A., localiza-se no concelho de Ribeira de Pena, com as coordenadas X: 231 704 m e Y: 515 243 m. A fase mineral litinífera que apresenta na sua constituição é a espodumena. De salientar que apresenta baixos teores de estanho (Sn) e elevados teores de ferro (Fe), comparativamente a filões com petalite.



Figura 43 – Vista aérea do filão de Alijó, evidenciando a sua exploração (Google Earth).

De trabalhos anteriores realizados pelo Instituto Geológico e Mineiro (IGM), nomeadamente a realização de três sondagens no referido filão, verificou-se a presença não de um, mas de dois filões subparalelos ambos mineralizados em espodumena, sendo um deles mais possante com um máximo conhecido de 45 metros de espessura. A orientação destes filões varia devido à sua forma parecer dobrada, todavia N160° corresponde à orientação geral. Para além disso, ficou evidenciado neste estudo a existência de um enclave de xisto com cerca de 10 metros de espessura seio do filão mais possante, que o divide a meio.

Macroscopicamente, este filão apresenta minerais como quartzo, feldspato potássico, espodumena e cookeite. Além disso, está evidenciado um zonamento da base para o topo do afloramento, no qual a base apresenta uma fácies aplítica passando para uma fácies pegmatítica.

A fácies aplítica apresenta uma matriz, em geral, bastante fina, com grandes cristais de feldspato potássico, que parecem estar distribuídos aleatoriamente naquela massa (figura 44). Isto sugere, pela sua configuração e análise unicamente macroscópica, que estes podem ser anteriores aos aplito-pegmatitos, porém mais estudos são necessários para investigar esta possibilidade. Os feldspatos aparecem não só na fácies aplítica como também na pegmatítica.





Figura 44 – Exemplo de feldspatos distribuídos na matriz aplítica do filão aplito-pegmatítico de Alijó, Ribeira de Pena.

Relativamente à espodumena (figura 45), esta aparece em cristais de tamanhos variáveis, na fácies pegmatítica. Neste caso, a espodumena aparece intercrescida com os cristais de quartzo. Por vezes, este aluminossilicato de lítio, encontra-se bastante alterada para um mineral de cor verde, denominado por cookeite. De referir que, neste filão não foram observados cristais de petalite tanto nos afloramentos, que devido à recente exploração se mostraram de grande qualidade, como em lâmina delgada e ainda nos testemunhos de sondagem estudados.

O quartzo aparece distribuído por todo o afloramento, encontrando-se tanto na matriz, como associado aos cristais de espodumena. Este aspeto é também visível na figura 45.



Figura 45 – Bloco de aplito-pegmatito resultante da exploração mineira evidenciando cristais de espodumena na matriz pegmatítica. Filão de Alijó, Ribeira de Pena.

Estruturalmente, este filão encontra-se bastante fraturado evidenciando duas famílias de diáclases principais:  $N20^{\circ}$  e  $N150^{\circ}$ . Como referido, a orientação deste filão é variável, visto encontrar-se numa forma ondulada, no entanto foi atribuída uma orientação geral  $N160^{\circ}$ . A orientação da foliação do encaixante corresponde geralmente a  $N120^{\circ}$ . O filão parece ter aproveitado uma fragilidade originada pela  $D_3$  para se instalar, evidenciando assim um contacto brusco, subconcordante com o encaixante (figura 46). Nos afloramentos onde a medição foi possível, a orientação do contacto variava entre  $N118^{\circ}$  e  $N130^{\circ}$ . De salientar a abundância de turmalina presente no contacto entre o filão e o encaixante, encontrando-se esta nos metassedimentos.



Figura 46 – Contacto entre os metassedimentos e o filão de aplito-pegmatito. Filão de Alijó, Ribeira de Pena

### VI.1.2 – Petrografia

A petrografia realizada nestas lâminas delgadas teve como principal objetivo analisar a distribuição da espodumena e a sua relação com os minerais envolventes, tentando inferir se esta será primária ou resultante de SQI (spodumene and quartz intergrowth).

As lâminas foram elaboradas no âmbito de vários estudos ao filão de Alijó e foram disponibilizadas pelo Professor Doutor Alexandre Lima.

No caso particular de Alijó, a espodumena foi o único mineral litínífero encontrado, tanto em afloramento, petrografia e testemunhos de sondagem. No entanto, em afloramento é visível uma relação entre a espodumena e o quartzo, podendo demonstrar o resultado da transformação da petalite para espodumena+quartzo.

A petrografia (figura 47) demonstra que no envolvente dos cristais de espodumena existem cristais de quartzo. Para além disso, a espodumena não se encontra alinhada com o quartzo, muito menos se encontra alinhada com outros cristais de espodumena, o que seria de esperar numa situação de SQI. Pelo contrário, esta



situação remete para um crescimento aleatório dos cristais, não estando estes condicionados ao crescimento paralelo às clivagens da petalite.

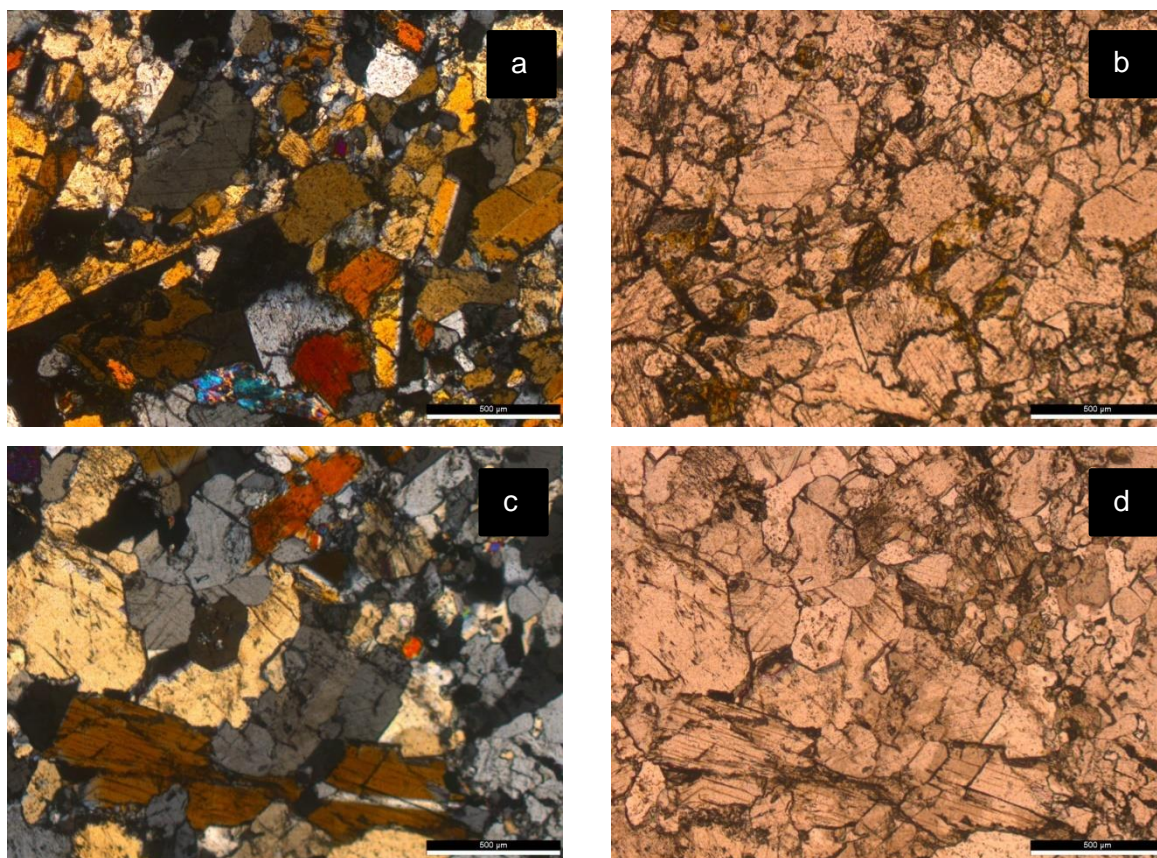


Figura 47 – Petrografia do filão de Alijó. Pormenor do crescimento aleatório da espodumena, sem evidenciar nenhum padrão de crescimento. As imagens a e c encontram-se em nicóis cruzados e as respetivas b e d em nicóis paralelos.

## VI.2 – Filão do Barroso

### VI.2.1 – Trabalho de Campo

O filão do Barroso localiza-se no concelho de Boticas, tendo as seguintes coordenadas: X- 226 751 m e Y- 518 289 m. A fase mineral litinífera mais abundante que apresenta na sua constituição é a espodumena. Apesar de não serem conhecidos os teores de estanho deste filão, este encontra-se numa zona anómala em estanho, segundo os dados dos sedimentos de corrente. Além disso, nas proximidades do filão, é visível um canal que teria servido para o desmonte ou o desmonte de outros filões, para a exploração de estanho.



Figura 48 – Vista aérea da exploração do filão do Barroso (Google Earth).

Este filão tem uma orientação de N160°, aproximadamente. Apresenta-se, por vezes, bastante alterado. Verifica-se a presença de cristais de feldspato, quartzo, moscovite e espodumena. Texturalmente, este filão apresenta uma matriz pegmatítica e também aplítica na qual são visíveis grandes cristais de feldspato.

A espodumena aparece intercrescida com o quartzo, de uma forma alinhada. Esta relação sugere que, neste caso, poderá ter ocorrido uma passagem de petalite para espodumena. Como tal, foi realizada uma lâmina da amostra MB1, para sua análise.



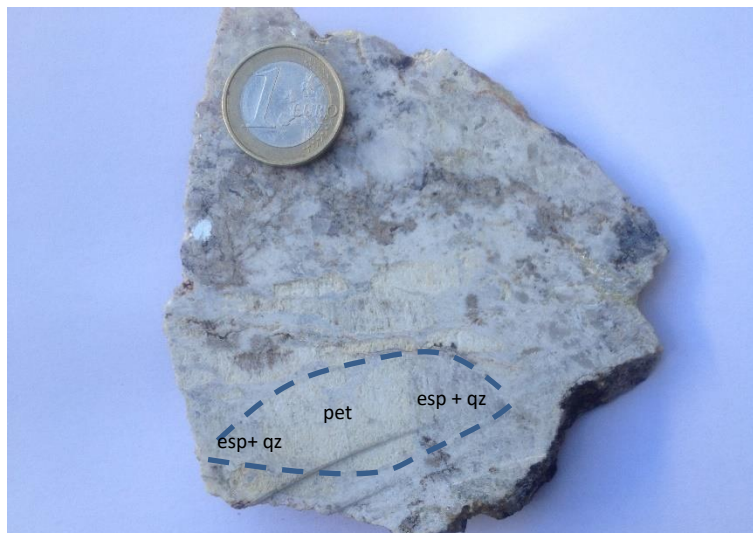


Figura 49 – Passagem de petalite para espodumena + quartzo. Amostra de mão MB1.

### VI.2.2 – Petrografia

A petrografia realizada nesta lâmina teve como principal objetivo analisar a relação entre a espodumena e a petalite, e confirma a situação de SQL, bem como a relação entre a espodumena e o quartzo.

O que parecia ser já uma passagem de petalite para espodumena + quartzo na amostra de mão, confirmou-se com a petrografia. A figura 50 representa o cristal inicial de petalite, o qual sofreu alteração isoquímica.

Nesta figura podemos observar a presença de petalite e espodumena. Neste local dá-se o início da passagem de um mineral para o outro. Como é possível observar, o crescimento da espodumena dá-se paralelamente às clivagens típicas da petalite, estando assim alinhada. Ou seja, cresce perpendicularmente ao limite lateral do cristal anterior, representado pelo tracejado branco. O quartzo aparece alternado com a espodumena, mas nem sempre segue esse padrão, ocorrendo, por vezes, no seu interior. De referir que a espodumena e o quartzo apresentam uma tendência mais ou menos paralela ao longo do cristal. Para além disso, é também visível a matriz de grão fino a envolver o cristal de petalite que foi substituído. Esta matriz é composta essencialmente por feldspatos e micas.

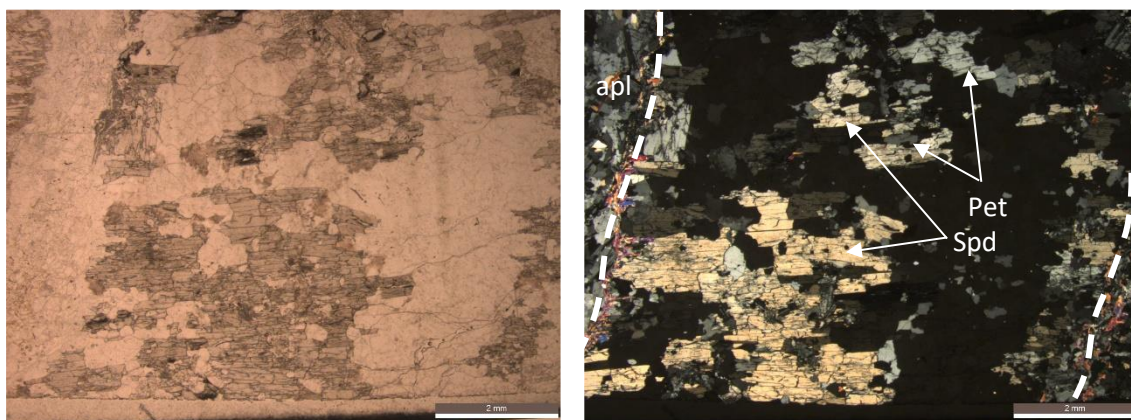


Figura 50 – Passagem de (pet) a espodumena (spd) + quartzo em nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

## VI.3 – Filão de Adagoi

### VI.3.1 – Trabalho de Campo

Relativamente ao filão de Adagoi (figura 51), localiza-se em Vila Pouca de Aguiar e com as coordenadas 239 243m e 515 027m. Este filão inclui na sua mineralogia espodumena e petalite primária, aparentemente. Tal como Alijó, apresenta baixos teores de estanho, no entanto, o ferro apresenta valores intermédios, comparativamente a filões com espodumena e filões com petalite.

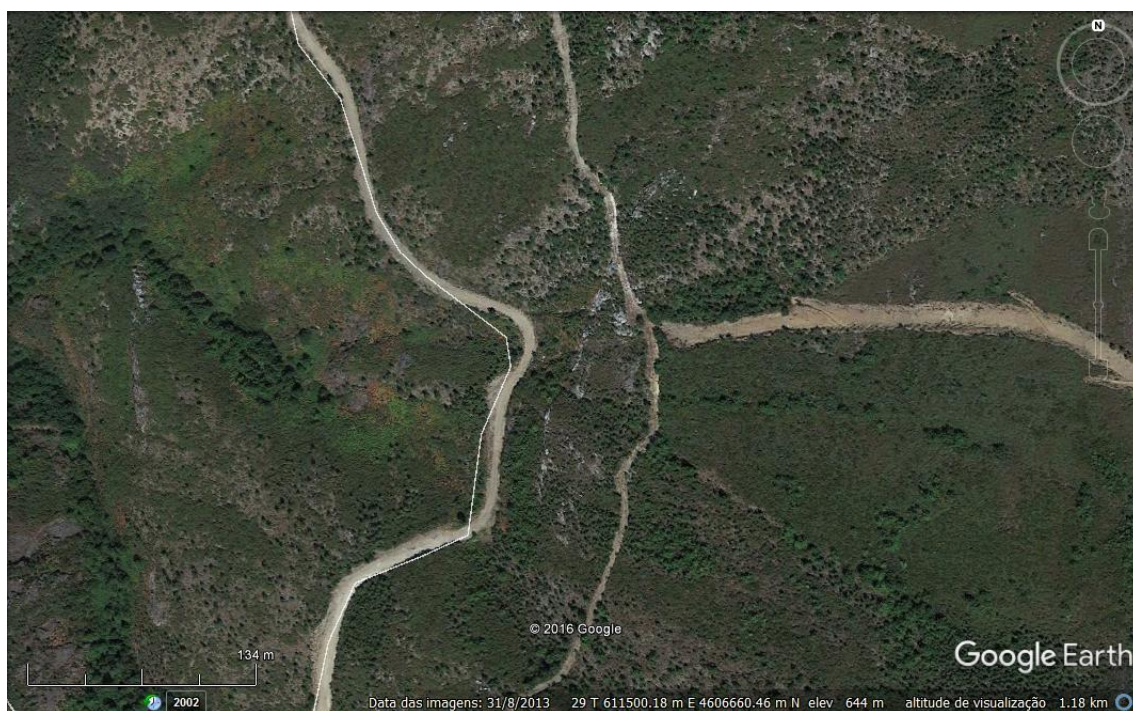


Figura 51 – Vista aérea do filão de Adagoi (Google Earth).

De acordo com trabalhos realizados pelo IGM, nomeadamente, a realização de sondagens, verificou-se que havia mais do que um corpo filoniano, mineralizados em espodumena e petalite.

A orientação geral do filão de Adagoi é N20°. Apresenta-se pouco alterado, com bons afloramentos. Verifica-se a presença de feldspatos, quartzo, moscovite, espodumena e petalite. Por vezes, encontra-se um mineral esverdeado, denominado por cookeite.

A espodumena apresenta-se por vezes em grandes cristais, alguns com mais de 20 cm (figura 52), associada a grandes cristais de quartzo (figura 53), e sob uma forma bastante desorganizada, numa massa que parece conter pequenos cristais de espodumena juntamente com cristais quartzo (figura 54).



Como referido, este filão apresenta também na sua constituição petalite. A figura 55 representa a ocorrência do mineral.



Figura 52 – Cristal de espodumena com aproximadamente 20 cm. Filão de Adagoi



Figura 53 – Ocorrência de espodumena e quartzo no filão de Adagoi.



Figura 54 – Pequenos ristsais de espodumena e quartzo, filão de Adagoi.



Figura 55 – Cristal de petalite no filão de Adagoi.

Apesar de não ter sido observado no campo, o contacto entre o filão e o encaixante, é conhecida a ocorrência de turmalina no contacto entre as duas rochas, existindo então a descrição dos logs de sondagem na qual está referida a presença da turmalina na transição dos metassedimentos para o filão, à semelhança do filão de Alijó. A foliação rocha encaixante tem uma orientação de N140°, evidenciando uma forte deformação.

### VI.3.2 – Petrografia

Como no filão anterior, a análise petrográfica foi efetuada para verificar a disposição dos cristais de espodumena e dos cristais de quartzo, bem como a sua relação, tentando inferir se esta será primária ou resultante de SQI.

As lâminas observadas foram elaboradas no âmbito de vários estudos ao filão de Adagoi e foram disponibilizadas pelo Doutor Alexandre Lima.

No caso particular de Adagoi, a espodumena não é o único mineral litínífero encontrado. Neste filão, temos a presença de espodumena e de petalite, aparentemente, ambos primários.

A petrografia (figura 56) demonstra que os filões são muito ricos em espodumena, havendo algum quartzo na envoltória, embora em pouca quantidade. À semelhança de Alijó, a espodumena não se encontra alinhada com o quartzo, o que seria de esperar numa situação de sqi, tal como acontece no filão do Barroso. Neste caso, os cristais de espodumena crescem aleatoriamente, cruzando-se entre si. Como referido anteriormente, num caso de sqi existe um certo intercrescimento entre a espodumena e o quartzo.

Para além disso, verificou-se que a petalite ocorre também em modo secundário, circundando a espodumena, como é possível observar na figura 57.

Como referido na descrição macroscópica, a turmalina ocorre no contacto entre o filão e os metassedimentos. Também microscopicamente, essa situação é visível, como demonstra a figura 58.



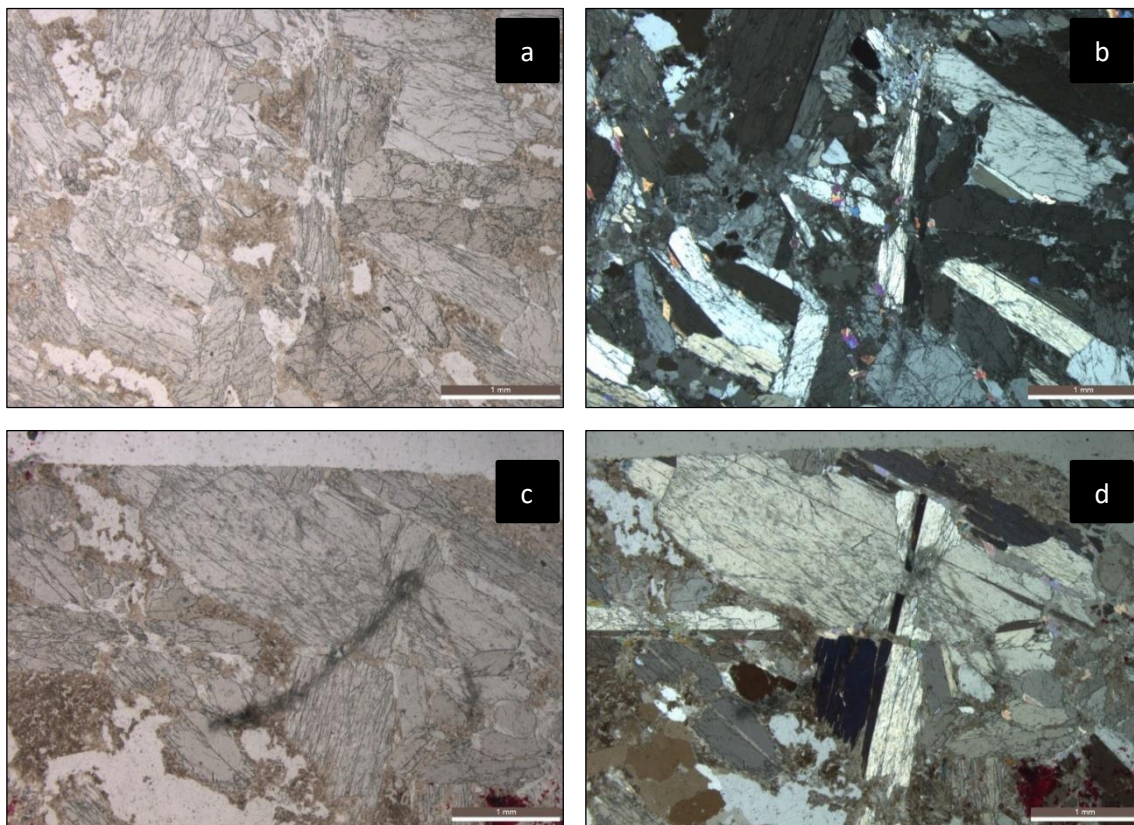


Figura 56 -Crescimento cruzado de cristais de espodumena. Filão de Adagoi.

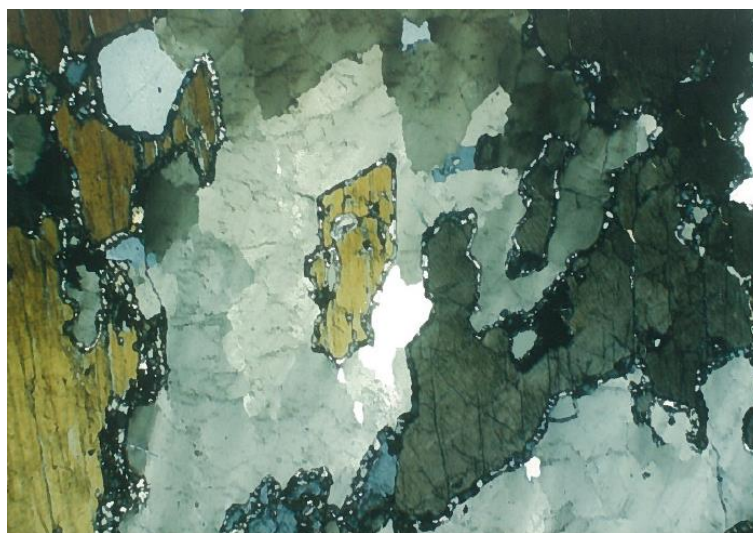


Figura 57 – Petalite a envolver um cristal de espodumena, evidenciando alguma alteração (ampliação 5x).

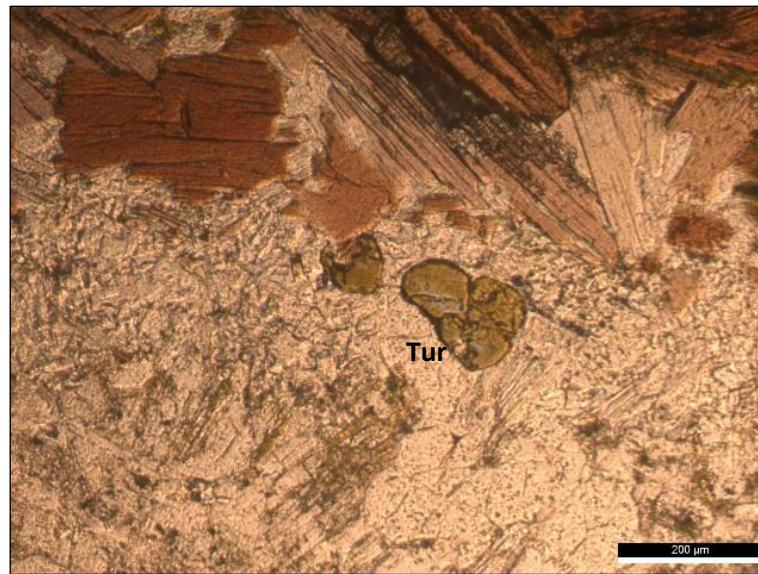


Figura 58 – Turmalina (Tur) no contacto entre o pegmatito e o metassedimento encaixante.



## **Capítulo VII**

### **Discussão dos Resultados**





A análise estatística espacial apresentada no capítulo V, teve como objetivo verificar a existência de uma possível orientação preferencial de aplito-pegmatito associada espacialmente às explorações de estanho, sendo evidente uma relação positiva entre filões orientados entre N0° a N30° (Grupo A) e N150° a N180° (Grupo F). A orientação N0° a N30° poderá corresponder a orientações tardi-variscas, enquanto que a orientação N150° a N180° poderá estar associada a fases ocorridas durante a orogenia varisca (Marques *et al.*, 2002). Estas fraturas geradas em períodos diferentes da orogenia Varisca podem ter facilitado a instalação dos corpos pegmatíticos. Para além disso, tendo em conta os dados mineralógicos já adquiridos, verificou-se que os filões mineralizados conhecidos com as referidas orientações, são compostos por petalite ou espodumena + quartzo. No entanto, são necessários mais dados sobre a mineralogia dos filões para que se possa comprovar estatisticamente esta relação. Todavia, esta constatação foi já reportada por Martins *et al.* (2011) que, numa abordagem de cariz geoquímico e mineralógico, refere a associação entre a petalite e a cassiterite.

Ainda neste capítulo, a prospeção geoquímica, utilizando bacias de drenagem de sedimentos de corrente num SIG, revelou-se um método bastante fiável. Esta abordagem revelou-se bastante mais eficaz que o método de isolinhas anteriormente usado para definir áreas de interesse.

Com este tipo de abordagem foram identificadas 318 bacias com teor de lítio acima do fundo regional, isto é, 99 ppm. No entanto, estes resultados poderiam ser ainda mais rigorosos caso tivesse sido tido em conta o fator de diluição presente em cada bacia, seguindo os procedimentos propostos por Carranza (2009b).

De referir que foi também representada a distribuição das anomalias de estanho, tendo sido estimado o teor de fundo regional de 0,5ppm. O objetivo desta representação foi demonstrar a relação entre os locais com estanho e lítio. Assim, foram localizadas 200 bacias com mineralização em lítio e estanho. Neste tipo de bacia, o mineral associado aos filões mineralizados é a petalite ou a espodumena + quartzo, sendo a espodumena derivada da alteração da petalite.

Para além disso, foram selecionadas bacias com elevados teores de Li para validação de campo. Foram então escolhidas duas bacias e em ambas foram localizados filões mineralizados. A primeira bacia ocupa uma área de 0,386 km<sup>2</sup>,

apresentando teores de 103ppm e 24ppm para o lítio e estanho, respetivamente. Nesta bacia foram encontrados dois filões, ambos bastante alterados. Foi possível observar petrograficamente petalite apenas num dos filões, devido ao outro se encontrar bastante alterado. De referir também que foram observados trabalhos mineiros antigos realizados para a exploração de estanho, justificando o valor bastante acima do fundo regional verificado. Portanto, a mineralização em lítio é conferida pela presença de filões com petalite.

A segunda bacia possui 250ppm de lítio e 175ppm de estanho, ocupando uma área de 0,538 km<sup>2</sup>. Aqui, foi localizado um filão parcialmente desmontado para a exploração de estanho. A parte não alterada do filão evidencia cristais de grandes dimensões de espodumena + quartzo. Este filão está orientado para N160°, incluindo-se no Grupo F, uma vez que possui uma orientação entre N 151° e N180° e foi outrora uma exploração de estanho.

Na análise aos filões de Alijó, Barroso e Adagoi verificou-se que há uma variação do valor de ferro relativamente à presença de espodumena e petalite. Quando apenas se verifica a presença de espodumena, os teores de ferro são mais elevados do que quando estamos na presença de petalite.

Para além disso, nesta região o estanho não se encontra relacionado com filões de espodumena. Por exemplo, no filão de Alijó constituído por espodumena primária, os teores de estanho são muito baixos, como referem as análises geoquímicas. Por outro lado, na Mina do Barroso, cuja espodumena é secundária, os teores em estanho são mais elevados, como revelam as análises aos sedimentos de corrente e os trabalhos mineiros antigos.

O filão de Adagoi, com espodumena e petalite, aparentemente, ambas primárias, apresenta valores de ferro intermédios, mas não apresenta elevados teores em estanho. No entanto, neste caso, não se exclui a hipótese de existirem filões de petalite (mais recentes) a intersetarem filões de espodumena (mais antigos).

Neste filão a espodumena ocorre em três modos diferentes. Este mineral apresenta-se por vezes em grandes cristais, alguns com mais de 20 cm (figura 52), aparece também associada a cristais de quartzo (figura 53), e, ainda, aparece de forma bastante desorganizada, numa massa que parece ter também além de pequenos cristais de espodumena, cristais quartzo (figura 54). Estes três modos podem ser resultado de processos diferentes. No primeiro caso, observa-se um cristal maciço, sem cristais de quartzo visíveis, o que poderá corresponder a espodumena primária. No

segundo caso, a espodumena poderá ser secundária, resultando da alteração da petalite. Por último, o terceiro caso, poderá corresponder a uma recristalização por meio de um cisalhamento.



## **Capítulo VIII**

### **Considerações Finais**



Esta dissertação de mestrado permitiu localizar novas áreas de interesse para a exploração dos pegmatitos de lítio, através do uso de um SIG, usando por base um modelo digital de escoamento e os dados geoquímicos obtidos numa campanha de sedimentos de corrente. Análise da relação entre as distâncias de pontos amostrados no campo e de uma malha de distribuição de pontos distribuídos aleatoriamente no terreno, permitiu demonstrar estatisticamente a relação entre aplito-pegmatitos do Grupo A (N0° a N30°) e o Grupo F (N150° a N180°) com explorações de estanho. Para além disso, recorrendo à base de dados disponível, verificou-se que estes filões são de petalite e/ ou espodumena+quartzo (SQI), podendo assim afirmar-se que este mineral está associado também ao estanho, corroborando a observação também realizada por Martins et al. (2011).

A análise dos filões de Alijó, Adagoi e Barroso permitiu observar a elevada complexidade existente neste campo aplito-pegmatítico. Foi possível verificar que no filão Barroso ocorreu a passagem da petalite para espodumena, através de amostra de mão e lâmina delgada. Concluindo-se assim que a espodumena associada ao quartzo, quando ocorre de forma mais ou menos paralela entre si, indica uma situação de *sqi*. Neste local, existiram outrora explorações de estanho, o que já fazia prever que este filão pudesse corresponder ser constituído não por espodumena primária, mas sim por espodumena secundária. Este filão serve também de exemplo comprovativo da relação entre a petalite e o estanho.

O filão de Alijó é constituído por espodumena, tendo algum quartzo também associado. Como referido, apresenta-se livre de estanho, eliminando assim a possível relação que eventualmente pudesse ser estabelecida com o filão anterior.

O filão de Adagoi, também ele constituído por espodumena com associações de quartzo, não apresenta estanho. Ou seja, a espodumena existente não será resultado de um *sqi*, ou pelo menos, não será na sua totalidade resultado dessa transformação, uma vez que a presença de estanho será um indicador da presença de um filão de petalite (com minerais sob a forma de petalite ou resultado da sua alteração para espodumena+ quartzo).

Deste trabalho, conclui-se então que existem dois tipos de mineralização, traduzindo-se em três tipos de filões no Campo Aplito-Pegmatítico do Barroso-Alvão:

1. Filões com petalite dominante, associados a bacias de drenagem com altos teores de estanho.

2. Filões com espodumena dominante, associados a bacias de drenagem com baixos teores de estanho.

3. Filões de espodumena + quartzo resultante de *sqi*, localizados em bacias com altos teores de estanho.

Esta divisão foi baseada não só nestes três filões aqui descritos, sendo também apoiada por dados de outros filões recolhidos no campo e ou disponibilizados pelos orientadores desta dissertação.

Posto isto, conclui-se que as técnicas usadas no SIG revelaram-se bastante úteis, não só na prospeção de novos locais potencialmente mineralizados em lítio, sendo um método rápido e que envolve baixos custos, como na caracterização estrutural da região, uma vez que foi possível inferir a orientação dos filões espacialmente relacionados com as antigas explorações de estanho.

No entanto, há ainda muito a fazer no que respeita à localização de novos filões, nomeadamente, a expansão da campanha de sedimentos de corrente, de modo a que área ocupada pelos metassedimentos seja coberta na sua totalidade. Deste modo, haveria a cobertura de bacias de drenagem em toda a região, não sendo nenhum local deixado à margem da análise. Aqui, as bacias poderiam ser realizadas tendo em conta o fator de diluição, obtendo-se um resultado ainda mais fidedigno.

De referir também que esta técnica poderia ser utilizada na prospeção de outro tipo de minério, como por exemplo o cobre ou o ouro, pelo que seria interessante a sua aplicação noutra área geográfica.

Para além disso, um estudo estrutural e mineralógico de novos filões mais aprofundado seria interessante para compreender a possível relação existente entre si, ou seja, compreender quais as forças ou estruturas que controlaram a instalação dos filões e que influência tiveram na cristalização de espodumena ou petalite.



## **Capítulo IX**

### **Referências Bibliográficas**



- Almeida, A., 1994, Geoquímica, petrogénese e potencialidades metalogénicas dos granitos peraluminosos de duas micas do complexo de Cabeceiras de Basto. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento.
- Arenas, R., Farias, P., Gallastegui, G., Gil Ibarguchi, J., Gonzalez Lodeiro, F., Klein, E., Marquinez, J., Martin Parra, L., Martinez Catalan, J., Ortega, E., Pablo Macia, J., Peinado, M., Rodriguez Fernandez, L., 1988, Características geológicas y significado de los domínios que componen la Zona de Galicia-Tras-os-Montes. In: Simposio sobre Cinturones Orogénicos, II Congreso de Geología de España, Granada, 75-84 pp.
- Baloga, S., Glaze, L. S., Bruno, B. C., 2007, Nearestneighbor analysis of small features on Mars: application to tumuli e rootless cones. *J Geophys Res, Planets*, v. 112, p. E03002.
- Brisbin, W. C., 1986, Mechanics of pegmatite intrusion. *American Mineralogist*, v. 71, no. 644-651.
- Brongniart, A., 1813, Essai d'une classification minéralogique des roches mélangées. *Journal des Mines*, v. 34.
- Capdevila, R. C., L. G., Floor, P., 1973, Les granitoides de la Meseta Ibérique. *Bull. Soc. Géol.*, v. XV (3-4), p. 209-228.
- Carranza, E. J. M., 2009a, Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Reviews*, v. 35, no. 3–4, p. 383-400.
- , 2009b, Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS, *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Volume Volume 11*, Elsevier Science B.V., p. 115-144.
- Černý, P., 1982, Short Course in Granitic Pegmatites in Science and Industry, The Mineralogical Association of Canada.
- , 1991a, Rare-element Granitic Pegmatites. Part I: Anatomy and Internal Evolution of Pegmatitic Deposits. *Geoscience Canada*, v. 18(2), p. 49-67.
- , 1991b, Rare-element Granitic Pegmatites. Part II: Regional to Global Environments and Petrogenesis. *Geoscience Canada*, v. 18 (2), p. 68-81.
- Černý, P., Ercit, T., 2005, The Classification of Granitic Pegmatites Revisited. *The Canadian Mineralogist*, v. 43, p. 2005-2026.

- Charoy, B., Lhote, F., Dusausoy, Y., Noronha, F., 1992, The Crystal Chemistry of Spodumene in Some Granitic Aplite-Pegmatite of Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, v. 30, p. 639-651.
- Charoy, B., Noronha, F., Lima, A., 2001, Spodumene - Petalite - Eucryptite: Mutual Relationships and Pattern of Alteration in Li-Rich Aplite-Pegmatite Dykes from Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, v. 39, p. 729-746.
- Clark, P. J., Evans, F. C., 1954, Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in population. *Ecology*, v. 35, p. 445-453.
- Demartis, M., Pinotti, L. P., Coniglio, J. E., D'Eramo, F. J., Tubía, J. M., Aragón, E., and Agulleiro Insúa, L. A., 2011, Ascent and emplacement of pegmatitic melts in a major reverse shear zone (Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of Structural Geology*, v. 33, no. 9, p. 1334-1346.
- Deveaud, S., Gumiaux, C., Gloaguen, E., Branquet, Y., 2013, Spatial statistical analysis applied to rare-element LCT-type pegmatite fields: an original approach to constrain faults-pegmatites-granites relationships. *Journal of Geosciences*, v. 58, no. 2, p. 163-182.
- Deveaud, S., Millot, R., Villaros, A., 2015, The genesis of LCT-type granitic pegmatites, as illustrated by lithium isotopes in micas. *Chemical Geology*, v. 411, p. 97-111.
- Dias, R., Ribeiro, A., 1995, The Ibero Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? *Tectonophysics*, p. 113-128.
- Dill, H. G., 2015, Pegmatites and aplites: Their genetic and applied ore geology. *Ore Geology Reviews*, v. 69, p. 417-561.
- , 2016, The CMS classification scheme (Chemical composition - Mineral assemblage - Structural geology) - linking geology to mineralogy of pegmatitic and aplitic rocks. *Journal of Mineralogy and Geochemistry* p. 231-263.
- Eckley, D. C., Curtin, K. V., 2013, Evaluating the spatiotemporal clustering of traffic incidents. *Comp Env Urb Sys*, v. 37, p. 70-81.
- Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F. G., Marquinez, J., Parra, L. M. M., Martínez Catalán, J. R., Maciá, J. G. P., Fernandez, L. R. R., 1987, Apontaciones al Conocimiento de la Estratigrafía y Estructura de Galicia Central. *Actas e Comunicações da IX Reunião de Geologia do Oeste Péninsula*. Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, p. 411-431.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., 1987, Granitoides da Zona Centro Ibérica e o seu enquadramento geodinâmico: Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo. *Libro Homenaje a L. C. Garcia de Figuerola*, p. 37-51.

- Fry, N., 1979, Random point distributions and strain measurement in rocks. *Tectonophysics*, v. 60, p. 89-105.
- Galopim de Carvalho, A. M., 2011, *Dicionário de Geologia*.
- Ginsburg, A. I., Timofeyev, L. N., Feldman, L. G., 1979, *Principles of Geology of the Granitic Pegmatites*. Moscow.
- Granitic Pegmatites. The State of Art - Field Trip Guidebook. 2007. *Memórias* 9, U. d. P., Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia.
- Julivert, M., Fonteboté, J. M., Ribeiro, A., Conde, L., 1974, *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Escala 1:1 000 000. *Memoria Explicativa*., Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 113 p.
- Kunasz, I., 2006, Lithium Resources, *in* Kogel, J. E., ed., *Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses. Part II: Commodities*., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (U.S.).
- Landes, K., 1933, Origin and classification of pegmatites. *American Mineralogist*, v. 18, p. 33-58.
- Lima, A., 2000, *Estrutura, mineralogia e génese dos filões aplitopegmatíticos com espodumena na região do Barroso-Alvão*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento
- Lima, A., Farinha, J., Pires, M., Viegas, L., Charoy, B., Noronha, F., Martins, L., 1997, *Prospecção de jazidas litiníferas da Região de Barroso-Alvão*. *Actas X Semana da Geoquímica/ IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, p. 199-202.
- Lima, A., Vieira, R., Martins, T., Farinha, J., Noronha, F., Charoy, B., 2003a, Os filões aplitopegmatíticos litiníferos da Região Barroso-Alvão (Norte de Portugal). *Memórias e Notícias. Publ. do Dep. Ciên. Terra e do Mus. Mineral. Geol., Univ. Coimbra*, v. 2 (Nova Série), p. 173-194.
- Lima, A., Vieira, R., Martins, T., Noronha, F., 2003b, *Aplicação de geoquímica de linhas de água na prospecção de filões aplitopegmatíticos litiníferos no campo aplitopegmatítico do Barroso-Alvão (Norte de Portugal)*. *IV Congresso Ibérico de Geoquímica*, Universidade de Coimbra, p. 458-460.
- London, D., 2008, Pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, v. Special Publication 10, p. 347.
- London, D., Burt, D., 1982, Lithium Minerals, *in* Černý, P., ed., *Short Course in Granitic Pegmatites in Science and Industry*. The Mineralogical Association of Canada.
- Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y. Canárias*. Edición 2015.

- Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari, C., 2002, The Late-Variscan fault network in central–northern Portugal (NW Iberia): a re-evaluation. *Tectonophysics*, v. 359, no. 3–4, p. 255-270.
- Martins, H. C., 1998, Geoquímica e petrogénese de granitóides tarditectónicos e pós-tectónicos. Implicações metalogénicas. 288 p. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. Tese de Doutoramento
- Martins, H. C. B., Almeida, A., Noronha, F., Leterrier, J., 1999, Geocronologia U-Pb em zircão e monazite de granitos Hercínicos do Norte de Portugal. *Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*. Instituto Superior Técnico de Lisboa, p. 77-88.
- Martins, T., 2009, Multidisciplinary study of pegmatites and associated Li and Sn-Nb-Ta mineralisation from the Barroso-Alvão region. 196 p. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento
- Martins, T., Lima, A., Simmons, W. B., Falster, A. U., Noronha, F., 2011, Geochemical Fractionation of Nb–Ta oxides in Li-Bearing Pegmatites From the Barroso–Alvão Pegmatite Field, Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, v. 49, no. 3, p. 777-791.
- Martins, T., Roda Robles, E., Lima, A., de Parseval, P., 2012, geochemistry and evolution of micas in the Barroso-Alvão pegmatite field, Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, v. 50, no. 4, p. 1117-1129.
- Noronha, F., 1992, Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50 000, 6 C (Cabeceiras de Basto). Instituto Geológico e Mineiro.
- Noronha, F., Ramos, J. M. F., Rebelo, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., 1981, Essai de corrélation des phases de déformation hercyniennes dans le NW de la P.I. Leid. *Geol. Meded*, v. 56 (1), p. 87-91.
- Noronha, F., Ribeiro, M. A., Martins, H. C., Lima, J., 1998, Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50 000; 6 D (Vila Pouca de Aguiar). Instituto Geológico e Mineiro.
- Noronha, F., Ribeiro, M. L., 1983, Notícia Explicativa da Folha 6 A – Montalegre. Serviços Geológicos de Portugal.
- Oen, I. S., 1958, The geology, petrology and ore deposits of the Viseu region, Northern Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, v. 41, p. 199.
- , 1960, The intrusion mechanism of the late Hercynian pos-tectonic granite plutons of Northern Portugal. *Geol. en Mijnb.*, v. 39 (7), p. 257-296.
- Partington, G., 1990, Environment and structural controls on the intrusion of the giant rare metal greenbushes pegmatite, Western Australia. *Economic Geology*, v. 85, no. 437-456.

- Pires, M., 1995, Prospeção geológica e geoquímica. Relatório interno da prospeção de jazidas litiníferas e de metais associados entre as Serras do Barroso e do Alvão - Ribeira de Pena. IGM, Lisboa, p. 46.
- Ribeiro, A., (1974) - Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 168 pp.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rovha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewsky, G., Almeida, F. M., Monteiro, J. H., 1979, Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., 1990, Structure in the Iberian Peninsula. In: R. D. Dallmeyer e E. Martinez Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag, Berlin, 220-236 pp.
- Ribeiro, M. A., 1999, Estudo litogeoquímico das formações metassedimentares encaixantes de mineralizações em Trás-os-Montes Ocidental. Implicações metalogénicas. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento
- Ribeiro, M. A., Martins, H. C. B., Almeida, A., Noronha, F., 2000, Notícia Explicativa da Folha 6 C - Cabeceiras de Basto. Instituto Geológico e Mineiro.
- Roda Robles, E., Pesquera Perez, A., Velasco Roldan, F., Fontan, F., 1999, The granitic pegmatites of the Fregeneda area (Salamanca, Spain); characteristics and petrogenesis. Mineralogical Magazine, v. 63, no. 4, p. 535-558.
- Sant'Ovaia, H., 2000, O Maciço Granítico Pós Tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo Petro-estrutural e Mecanismo de Instalação. Faculdade de Ciências de Universidade do Porto. Tese de Doutoramento.
- Sant'Ovaia, H., Ribeiro, M. A., Martins, H. C., Noronha, F., 2011, Notícia Explicativa da Folha 6 D - Vila Pouca de Aguiar. Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).
- Schermerhon, L. J. G., 1956, Igneous metamorphic and ore geology of the Castro Daire - São Pedro do Sul - Sátão region (Northern Portugal). Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal v. 37.
- Silva, D., 2014, Spatial analysis applied to the Barroso-Alvão rare-elements pegmatite field (Northern Portugal). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Mestrado
- Simmons, W., 2007, Pegmatite Genesis: Recent Advances and Areas for Future Research. in Granitic Pegmatites: The State of the Art – International Symposium. Porto, Portugal.

- Simmons, W., Webber, K., 2008, Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy*, v. 20 (2), p. 421-438.
- Trueman, D., Černý, P., 1982, Exploration for rare-element granitic pegmatites., *in* Černý, P., ed., *Granitic Pegmatites in Science and Industry*, Volume 8: Mineralogical Association of Canada Short Course Handbooks, p. 463-494.
- Wilkins, D. E., Ford, R. L., 2007, Nearest neighbor methods applied to dune field organization: the Coral Pink Sand Dune, Kane County, Utah, USA: *Geomorphology*, v. 93, p. 48-57.

### **Websites Consultados**

SIORMINP – Sistema de Informação de Ocorrência e Recursos Minerais Portugueses

<http://geoportal.lneg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp/mapa.htm> - Consultado em 02/08/2016

IGeoE – Instituto Geográfico de Exército

<https://www.igeoe.pt/index.php?id=186&p=1&distrito=17&escala=1&extracto=59> – Consultado em 01/08/2016

<https://desktop.arcgis.com/>

### **Softwares utilizados**

Google Earth 2016

ArcGIS, versão 10.3